



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Camila Ferreira de Vasconcellos

**Estudo dos jardins de chuva como ferramenta de adaptação urbana às
mudanças climáticas: parâmetros para dimensionamento e projeto na
cidade de Niterói**

Rio de Janeiro

2022

Camila Ferreira de Vasconcellos

Estudo dos jardins de chuva como ferramenta de adaptação urbana às mudanças climáticas: parâmetros para dimensionamento e projeto na cidade de Niterói

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, ao Departamento de Construção Civil e Transportes, da Faculdade de Engenharia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil, com ênfase em Construção Civil.

Orientador: Prof. Roberto Bressan Nacif e

Coorientador: Prof. Alfredo Akira Ohnuma Jr.

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA XXX/X

A ficha catalográfica deve ser preparada pela equipe da Biblioteca após a defesa do trabalho.

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial deste Trabalho de Conclusão de Curso, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Camila Ferreira de Vasconcellos

Estudo dos jardins de chuva como ferramenta de adaptação urbana às mudanças climáticas: parâmetros para dimensionamento e projeto na cidade de Niterói

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, ao Departamento de Construção Civil e Transportes, da Faculdade de Engenharia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil, com ênfase em Construção Civil.

Defesa em 21 de setembro de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. . D.Sc. Roberto Bressan Nacif (Orientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. . D.Sc. Alfredo Akira Ohnuma Jr. (Coorientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a . D.Sc. Luciana Alem Gennari

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. D.Sc. Diego Souza Caetano

Arquitetura e Urbanismo - UNILASALLE

Rio de Janeiro

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a quem veio muito antes de tudo isso. Meus pais, Eduardo e Maria de Fátima, que me permitiram sempre ser e seguir pelos caminhos escolhidos com autonomia e suporte. Ao meu irmão, João Pedro, por fazer com que eu tivesse vontade de ser o melhor exemplo possível. A todos os meus tios, tias, primos e avós (aos que puderam participar desse ciclo e aos que não), mas em especial agradeço à minha tia Denise, por ter sido a minha maior inspiração durante todos esses anos!

Em seguida, gostaria de prestar minha gratidão àqueles que surgiram durante a caminhada universitária e sem os quais eu não teria chegado tão longe. Aos amigos, colegas, professores, monitores, Renato da xerox, tia do salgado do sétimo andar, moça rabugenta do beija e todo mundo que cruzou meu caminho *uerjiano* com um sorriso no rosto. Principalmente, agradeço à Thayná, Juliane, Wellington, Guilherme, Carol, Raphael e João, que fizeram (e ainda fazem) meus dias mais felizes.

Agradeço também ao Cepel, por ter sido o início da minha vida na pesquisa científica e colocado sob a luz dos meus olhos o tema das mudanças climáticas, me fazendo perceber que nada nunca fez tanto sentido de ser estudado. Me proporcionou um início de vida profissional incrível com superiores maravilhosas; à Kátia e à Luciana toda a minha gratidão. E além de tudo isso, me deu amigos maravilhosos, Wagner, Mark, César, Juliane (mais uma vez), Pedro e Robério, muito obrigada por todo companheirismo e conhecimento compartilhado.

É importante dizer que os meus amigos são uma das coisas mais importantes da minha vida. A quem esteve comigo durante todos esses anos: Luana, Tayná, Helen, Igor e a todos os outros, meu muito obrigada! Faço um agradecimento especial aos maiores amores que o universo poderia ter me dado, além de todos os outros momentos, Mariana e Júlia participaram de todas as etapas do projeto comigo. Obrigada por tudo, *vos digo mil vezes sim, que o nosso amor ultrapassou as estrelas e se instalou no meu coração!*

E finalmente, mas não menos importantes: agradeço à Helaine por ter me apresentado ao yoga no meio desse caminho, e ao yoga por ter me apresentado uma ideia completamente nova de ser e viver! Agradeço à Izabella e ao Vitor por dividirem casa comigo durante essa reta final! Agradeço ao professor Nacif pela proposta maravilhosa de tema! Agradeço ao Wenceslau e à Letícia pela disponibilidade indescritível em ajudar com o ensaio de infiltração! Agradeço imensamente ao professor Akira por toda a ajuda acrescentada!

Por fim, agradeço a tudo e a todos que permitiram com que eu seja tudo que eu fui, tudo o que eu sou e tudo que eu ainda ei de ser! Gratidão!

Não existe futuro para qualquer pensamento político que não seja ecologicamente sustentável. A crise ecológica é um fenômeno global, que deve ser tratado local e mundialmente com a mesma intensidade.

[...]

É preciso que a tecnologia prove ser segura e constituir-se em instrumento de melhoria sócio-ambiental da sociedade, em relação ao existente.

Rede Brasil de Ecossocialistas

RESUMO

VASCONCELLOS, Camila Ferreira. *Estudo dos jardins de chuva como ferramenta de adaptação urbana às mudanças climáticas: parâmetros para dimensionamento e projeto na cidade de Niterói*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Construção Civil e Transportes - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

O seguinte trabalho de monografia propõe os jardins de chuva como ferramenta de adaptação urbana às consequências causadas pelas mudanças climáticas. Com o objetivo de dimensionar um jardim de chuva na cidade de Niterói, parte-se de uma revisão bibliográfica breve acerca dos temas envolvidos, perpassa pelo levantamento de dados para a caracterização do regime de chuvas e capacidade de infiltração de água no solo, até chegar nas metodologias propostas para o cálculo. Conclui-se com uma proposta de modelo a ser implementado e multiplicado, visando facilitar a construção de centros urbanos cada vez mais adaptados e menos vulneráveis aos desafios que estão por vir.

Palavras-chave: Jardim de chuva. Alagamentos. Mudanças climáticas. Biorretenção. Infiltração.

ABSTRACT

VASCONCELLOS, Camila Ferreira. *Study of rain gardens as a tool to urban adaptation to climate change: parameters for dimensioning and projecting at Niterói*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Construção Civil e Transportes - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

The following monographic work proposes the rain garden as an adaptation tool to urban climate change consequences. With the goal of dimensioning a rain garden in the city of Niterói, it starts from a brief bibliographical review about the involved subjects, passing through the data survey for the characterization of the rainfall regime and water infiltration capacity, until arriving at the proposed methodologies for calculation. It concludes with a proposition of a model to be implemented and multiplied, aiming to facilitate the construction of more adapted urban centers and less vulnerable to the challenges that lie ahead.

Keywords: Rain Garden. Floodings. Climate change. Adaptation. Infiltration.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma metodológico	16
Figura 2 - Camadas propostas para um jardim de chuva	25
Figura 3 - Mapeamento de suscetibilidade a alagamentos no Município de Niterói – RJ.....	28
Figura 4 - Mapa com seleção de locais de inspeção para implantação do jardim de chuva	29
Figura 5 - Av. 7 de Setembro com Rua Nóbrega – calçada com pouca disponibilidade.....	30
Figura 6 - Av. 7 de Setembro com Rua Nóbrega – localização	30
Figura 7 - Rua Dr. Paulo César com Rua Mário Alves.....	31
Figura 8 - Rua Dr. Paulo César com Rua Mário Alves – localização	31
Figura 9 - Local definido de implantação do jardim de chuva na Avenida Roberto Silveira com a Presidente Backer	32
Figura 10 - Projeção de área do Jardim de Chuva na Avenida Roberto Silveira com a Presidente Backer	33
Figura 11 - Distritos de Limpeza Urbana (DLU) de Niterói.....	34
Figura 12- Periodicidade de coleta domiciliar na cidade de Niterói.....	35
Figura 13 - Mapa de regiões homogêneas relacionadas à precipitação no estado do Rio de Janeiro	37
Figura 14 - Interface Pluvio 2.1	39
Figura 15 - Áreas de contribuição para o Jardim de Chuva	44
Figura 16- Estrutura do permeâmetro de Guelph	47
Figura 17 - Distanciamento dos pontos de análise	48
Figura 18 - Fase inicial de preparação do furo	49
Figura 19 - Medição de umidade do solo anterior e após o ensaio com o permeâmetro de Guelph.....	49
Figura 20 - Fluxograma de metodologia a ser seguida para o permeâmetro de Guelph	50
Figura 21 - Pontos 1, 2 e 3 respectivamente (da esquerda para a direita).....	50
Figura 22 - Fluxograma dos parâmetros necessários para dimensionamento	54
Figura 23 - Vista superior do jardim de chuva	60
Figura 24 - Corte A-A' do jardim de chuva.....	61
Figura 25 - Corte B-B' do jardim de chuva	61
Figura 26 - Representação do módulo replicável do jardim de chuva com altura da camada de brita e comprimento variáveis	62
Figura 27 - Dados para o ponto 1	77
Figura 28 - Dados para o ponto 2	78
Figura 29 - Dados para o ponto 3	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação total acumulada mensalmente, em milímetros, referentes aos anos de 2019, 2020 e 2021.....	41
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos selecionados pela Prefeitura de Niterói para visitação com potencial de implantação de jardins de chuva.....	29
Tabela 2 - Critérios de seleção de áreas para o projeto do jardim de chuva em Niterói-RJ	32
Tabela 3 - Quantis anuais adimensionais da Região 3.....	38
Tabela 4 - Coordenadas geográficas do local de análise	39
Tabela 5 - Precipitação total acumulada mensalmente, em milímetros, referentes aos anos de 2019, 2020 e 2021.....	41
Tabela 6 - 5 maiores eventos de precipitação do período analisado.....	42
Tabela 7 - Valores de coeficiente de escoamento (c) segundo ASCE (1969).....	45
Tabela 8 - Fluxo médio de água para cada um dos 3 pontos de análise	51
Tabela 9 - Quadro resumo dos parâmetros obtidos para cada um dos 3 pontos de análise	51
Tabela 10- Fatores de segurança de minoração da sortividade	53
Tabela 11 - Parâmetros necessários para o dimensionamento do jardim de chuva na Avenida Roberto Silveira	55
Tabela 12 - Volume precipitado para cada tempo de período de retorno	57
Tabela 13 - Volume de armazenamento necessário para cada tempo de período de retorno ..	58
Tabela 14 - Espessura de cada uma das camadas do jardim de chuva	60
Tabela 15 - Dados obtidos para ponto 1.....	74
Tabela 16 - Dados obtidos para ponto 2.....	75
Tabela 17 - Dados obtidos para ponto 3.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros a serem observados para implementação de jardins de chuva.....	27
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
PDPA	Programa de Desenvolvimento de Projetos Aplicados
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
NQQ	Niterói Que Queremos
GEE	Gases de Efeito Estufa
PBMC	Plano Brasileiro de Mudanças Climáticas
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMM	Organização Meteorológica Mundial
Pnuma	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
ONU	Organização das Nações Unidas
SBN	Soluções Baseadas na Natureza
TC	Técnica Compensatória
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
CLIN	Companhia Municipal de Limpeza Urbana de Niterói
DLU	Distritos de Limpeza Urbana
CPRM	Centro de Pesquisas de Recursos Minerais
GPRH	Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
1.1. Impactos da urbanização no ciclo hidrológico	18
1.2. Eventos de precipitação e desastres de natureza hidrológica	19
1.3. Vulnerabilidades das cidades às mudanças climáticas	21
1.4. Sistemas de microdrenagem urbana	22
1.5. Sistemas de biorretenção	23
1.6. Jardins de chuva.....	24
2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	27
2.1. Caracterização das condições do sistema de drenagem no Município de Niterói.....	28
2.2. Definição do local para o projeto do jardim de chuva	29
2.3. Dados de limpeza urbana	33
3. GRANDEZAS RELACIONADAS À PRECIPITAÇÃO	36
3.1. Intensidade e tempo de duração.....	36
3.1.1. Metodologia 1: CPRM.....	36
3.1.2. Metodologia 2: Pluvio 2.1	38
3.2. Período de retorno.....	39
3.3. Base histórica de dados: Precipitação média anual, distribuição pelos meses do ano e eventos mais significativos da região.....	40
4. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	43
4.1. Escoamento superficial	43
4.2. Infiltração e sortividade.....	45
4.3. Permeâmetro de Guelph.....	46
4.4. Medidas em campo e aplicação da metodologia do permeâmetro de Guelph	48
5. DIMENSIONAMENTO DO JARDIM DE CHUVA	52
5.1. Metodologia utilizada para cálculo.....	52
5.1.1. Volume de armazenamento	52
5.1.2. Volume precipitado.....	52
5.1.3. Volume infiltrado	53
5.2. Parâmetros necessários para o dimensionamento	54
5.3. Aplicação da metodologia nos parâmetros locais: memória de cálculo	55
5.3.1. Volume precipitado.....	55
5.3.2. Volume infiltrado	58

5.3.3. Volume armazenado	58
6. RESULTADO FINAL.....	60
6.1. Jardim Avenida Roberto Silveira.....	60
6.2. Modelo de jardim para replicação em Niterói.....	61
CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS.....	64
ANEXO I – Respostas CLIN	70
ANEXO II – Resultados Permeâmetro de Guelph	74
ANEXO III – Projeto jardim de chuva Avenida Roberto Silveira – Niterói, RJ	79

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são entendidas como as alterações no clima que podem ser identificadas e intensificadas por atividades antrópicas, principalmente pelos altos níveis de emissões de gases de efeito estufa – GEE (IPCC, 2018). Como resultado, estão as mudanças nos regimes climáticos existentes, o aumento da temperatura média do planeta e o aumento da frequência de ocorrência dos eventos climáticos extremos, tanto em termos de quantidade, quanto de intensidade.

Ainda segundo o IPCC, entre todas as variações meteorológicas acarretadas pelas mudanças climáticas, a instabilidade no ciclo hidrológico é um dos fatores que mais afeta os centros urbanos e a estabilidade de sua infraestrutura. Eventos hidrológicos extremos são capazes de provocar desastres urbanos, como alagamentos e inundações, que tem se tornado cada vez mais frequentes e abrangentes, não se delimitando mais a determinadas épocas do ano e/ou regiões de características climáticas específicas.

Baixos índices de permeabilidade do solo, escoamento superficial elevado e grande concentração populacional são fatores que tornam os centros urbanos mais vulneráveis às ocorrências de extremos climáticos e suas consequências. Porém, uma vez que essa suscetibilidade é detectada, é possível avaliar modelos de adaptação aos eventos extremos.

A capacidade adaptativa é definida pelo IPCC (2018) como a habilidade de um sistema de se ajustar a potenciais danos, de tirar vantagem de determinadas oportunidades ou de responder às consequências de eventos. Dentro desses conceitos de desenvolvimento, foi iniciada uma parceria com a Prefeitura Municipal de Niterói, através do Programa de Desenvolvimento de Projetos Aplicados (PDPA – Niterói) e executado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e pela UNILaSalle.

O Município de Niterói sofreu, entre os anos de 1970 e 2010, uma expansão mais expressiva e desordenada da sua malha urbana, que, nesse período aumentou em 130% (PREFEITURA MUNICIPAL DE NITERÓI, 2020). Devido ao intenso movimento de sua população com os municípios vizinhos (principalmente o Rio de Janeiro), a cidade demanda uma malha rodoviária complexa e integrada que permite o deslocamento diário da população. Esse fator implica diretamente no aumento de áreas impermeáveis da cidade, o que acarreta em maior propensão aos alagamentos.

Áreas alagadas são acúmulos momentâneos de água, em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007 apud AMARAL e RIBEIRO, 2012), e o Município de Niterói tem tido cada vez mais impactos dessa natureza, decorrentes sobretudo de eventos pluviométricos extremos. Problemas de enchentes e alagamentos ocorrem principalmente devido ao processo acentuado e descontrolado de urbanização, em sua maior parte, em áreas de planícies de inundação, e que podem gerar consequências graves à infraestrutura da cidade e sua população (NETO et al. 2014).

Tendo em vista a realidade urbanística da cidade, o PDPA de Niterói tem como finalidade incentivar e viabilizar projetos de desenvolvimento sustentável do município dentro das diretrizes

definidas pelo documento “Niterói Que Queremos” (NQQ), como um plano estratégico desenvolvido pela Prefeitura de Niterói, iniciado em 2013, que vislumbra pensar a evolução da cidade para os próximos 20 anos.

O projeto proposto pelas universidades ao PDPA apresenta uma divisão em três tópicos: Energia Limpa, Clima e Chuvas. Entendendo que os três assuntos se correlacionam, as soluções foram pensadas de modo a desenvolver uma estrutura mais adaptada para a cidade. A frente de atuação com coordenação proveniente do corpo docente da UERJ foi a parte de Chuvas.

Nesse sentido, podem ser apresentadas soluções como propostas e medidas de atenuação de eventos extremos hidrológicos e climatológicos, como por exemplo, determinadas técnicas de infiltração e de jardinagem do tipo jardins de chuva como sistemas de biorretenção de volumes efetivos precipitados.

Este trabalho, portanto, alinhando-se às propostas do PDPA, tem como principais objetivos a discussão acerca da precipitação pluviométrica, suas consequências para os centros urbanos e a posposta do jardim de chuva como possível solução adaptativa.

O estudo das chuvas no município constitui-se da aquisição e análise de dados de precipitação na região da área de interesse como premissa para avaliação das condições de projeto e de implantação das técnicas de biorretenção, capazes de ajudar no controle de cheias nas cidades, de uma maneira sustentável, sobretudo na infraestrutura urbana e no manejo das águas pluviais.

Tendo em vista os cenários das mudanças do clima observadas no mundo, em agendas políticas internacionais (PERSSON E DZEBO, 2019; BALDERAS TORRES et al., 2020), o estudo das condições climáticas da região de estudo torna-se fundamental como medidas de avaliação de implantação de técnicas que se apresentam como Soluções baseadas na Natureza (SbN).

Os jardins de chuva são o meio de biorretenção mais conhecido e possuem uma fundamentação bem simplificada, pois esse tipo de sistema tem como funções principais reter, filtrar e infiltrar a água da chuva, como medida de retardar ao máximo os impactos provenientes do escoamento superficial, além de auxiliar o sistema de drenagem urbana das águas pluviais.

Desse modo, os jardins de chuva têm sido cada vez mais adotados em áreas urbanas com a finalidade de auxiliar na redução dos danos causados pelos elevados volumes de água proveniente de precipitações, além de atenuar os momentos de pico de escoamento e otimizar os processos de infiltração da água de chuva no solo.

Segundo a Associação Ambiental de Alta Qualidade francesa (Association Haute Qualité Environnementale, HQE, 2001) a interação de uma construção com o ambiente se dá em momentos distintos de sua existência. De uma maneira generalizada, segundo Degani e Cardoso (2002), esses momentos do ciclo de vida de um produto edificado podem perpassar pelas seguintes etapas: planejamento, implantação, uso, manutenção e demolição.

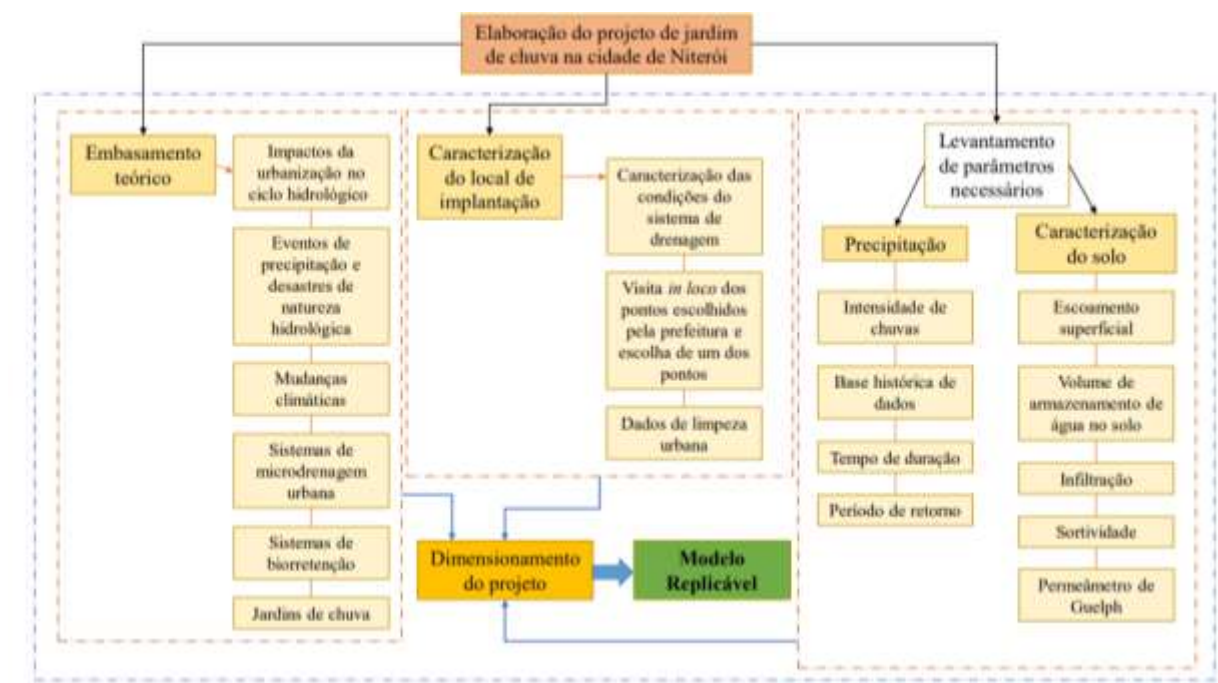
Durante o desenvolvimento da fase anterior deste projeto do PDPA, foi desenvolvido um estudo conceitual dos jardins de chuva como sistema de biorretenção na cidade de Niterói (PAULO, e

SANT'ANA, 2021), no qual foram apresentadas revisões bibliográficas, que embasaram o desenvolvimento e o conhecimento necessário para o desenvolvimento da implantação do jardim de chuva.

Portanto, este trabalho busca dar continuidade aos estudos de viabilidade técnica do sistema de biorretenção, levantando sobretudo os critérios e requisitos necessários ao dimensionamento e implantação de um jardim de chuva no Município de Niterói como ferramenta de adaptação urbana às mudanças climáticas, visando impactos positivos em eventos de alagamentos e enchentes.

A metodologia aqui aplicada (Figura 1) consiste em: (a) avaliação das informações obtidas no trabalho de PAULO e SANT'ANA (2021) e aprofundamento do embasamento teórico para levantamento de dados; (b) caracterização do local de implantação do jardim de chuva e escolha do ponto de possível execução do projeto, de acordo com critérios de viabilidade; (c) levantamento dos parâmetros técnicos necessários, como dados de precipitação, caracterização do solo e da rede de drenagem do local; (d) dimensionamento da capacidade de captação e proporções da estrutura; (e) elaboração do projeto do jardim de chuva na cidade de Niterói.

Figura 1 - Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Sherbin et al. (2019), em uma revisão de 84 publicações de mapeamento de vulnerabilidade às mudanças climáticas e seus possíveis impactos, revela a importância de uma análise abrangente do reconhecimento dos pontos em comum de avaliação, além da valorização das características específicas de cada localidade.

Independentemente da escolha das definições acerca da vulnerabilidade a ser avaliada, torna-se necessária a definição de requisitos, como: o sistema de análise (o que é vulnerável?), os atributos desse

sistema (por que ele é importante?), a ameaça externa (ao que o sistema é vulnerável?), e a referência temporal (quando?).

Na aplicação desse modelo de investigação no contexto de projetos de jardins de chuvas para a cidade de Niterói, tem-se como sistema de análise a própria estrutura urbana do Município de Niterói.

Os atributos do sistema, ou por que ele é importante, são, de maneira generalista, a garantia da integridade das estruturas de moradia e convivência social. O fato de que nesses espaços é onde observa-se grande densidade urbana, implica diretamente no bem-estar, saúde e qualidade de vida das pessoas que ali habitam.

A ameaça externa é constituída pela análise dos eventos hidrológicos extremos, associados às mudanças climáticas, como chuvas intensas e alagamentos causados por uma precipitação maior do que a que o sistema de drenagem local suporta.

Como referência temporal, tem-se os próximos 11 anos, ou até 2033, sendo esse o limite temporal de análise do programa Niterói Que Queremos (NQQ), implementado em 2013 e idealizado para propor uma evolução da cidade para os 20 anos seguintes.

Por conta da avaliação exposta anteriormente, nesse trabalho serão tratadas principalmente as questões que interferem diretamente no sistema de drenagem urbana, sendo elas: o aumento dos eventos pluviométricos extremos e, conseqüentemente, o aumento de enchentes e inundações, as características de permeabilidade do solo e as possibilidades de ações de modelo adaptativo à infraestrutura de escoamento de águas pluviais, utilizando os jardins de chuva como proposta.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Impactos da urbanização no ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o sistema natural de movimentação contínua da água no meio físico, avaliado sobretudo na fase terrestre. A circulação de água no meio terrestre se dá de forma espontânea e pode ser brevemente resumida nos processos de evapotranspiração, condensação, precipitação e escoamento. Essas etapas se repetem e fecham o ciclo da água de forma a manter o sistema hídrico em equilíbrio, independente das circunstâncias apresentadas, como das alterações antrópicas (MIRANDA, 2010).

Porém, não apenas fatores naturais atuam nos fluxos do planeta Terra. O fator “humano” tem se mostrado cada vez mais expressivo e influente nesses processos. Teorias apontam a ação humana como nova “força da natureza” capaz de modificar o equilíbrio e impor ao sistema Terra estados de operação sem precedentes, como por exemplo, a teoria do Antropoceno¹ proposta pelo paleobiólogo Jan Zalasiewicz (ROQUE, 2021).

Segundo Tundisi (2003), o ser humano utiliza a água como recurso, não somente de mantimento de suas funções vitais, mas em um vasto conjunto de atividades de característica econômica. Sendo assim, sua influência vai além da alteração do meio físico onde ocorrem os processos hidrológicos, e na disponibilidade direta de água em determinados locais, depende também da atividade predominante no local de análise.

A redução no volume disponível e a apropriação dos recursos hídricos em escala maior e mais rápida têm produzido grandes alterações nos ciclos hidrológicos regionais: por exemplo, a construção de barragens aumenta a taxa de evaporação, a construção de canais para diversão de água, produz desequilíbrios no balanço hídrico, a retirada de água em excesso para irrigação, diminui o volume dos rios e lagos. (TUNDISI, 2003, p. 32)

E de forma mais abrangente,

O ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem entra dentro deste sistema e se concentra no espaço, produz grandes alterações que modificam dramaticamente este ciclo e trazem consigo impactos significativos (muitas vezes de forma irreversível) no próprio homem e na natureza. (TUCCI, 2003, p.12)

Dentre os meios de habitação, as cidades são a forma mais expressiva de modificação no espaço natural que a atuação do homem impõe. E esse processo de expansão das cidades, chamado de urbanização é definido como “processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas” (TUCCI, 2010).

Esse processo conta com uma série de infraestruturas necessárias para a manutenção de uma grande concentração populacional em uma pequena área territorial. Para isso, são necessárias várias

¹ Antropoceno é uma teoria levantada por geólogos e especialistas em estratigrafia que afirmam que estamos em uma nova era geológica onde as consequências das ações humanas são consideradas forças de modificação diretas no planeta Terra, alterando o funcionamento de seus ciclos e fluxos (RODRIGUES, 2017).

alterações no ambiente, como principais: a impermeabilização do solo, a canalização de corpos hídricos, a remoção de vegetação nativa e as alterações na topografia.

Na impermeabilização do solo existem dois problemas principais associados: a obstrução da infiltração e o aumento do escoamento superficial (FRITZEN e BINDA, 2011). Na redução do volume de água armazenado no solo, o nível do lençol freático é reduzido, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, dessa forma, o volume de água que corre diretamente para os canais fluviais é maior e mais rápido, uma vez que não é interceptado ou infiltrado por obstáculos. Nas áreas urbanas, a maior parte dos corpos hídricos são canalizados e retificados, sem espaço para a expansão dos corpos hídricos, de modo acentuar as enchentes e os alagamentos.

As obras de canalização e retificação são interferências antrópicas que modificam as características naturais dos rios, com o objetivo de garantir um escoamento mais rápido e aumentar o volume de vazão (BOTELHO e SILVA, 2010). No entanto, esse dimensionamento prévio não tem sido capaz de evitar desastres de natureza hidrológica e muitas vezes, com a transferência do problema de montante para jusante (TUCCI, 2005).

A vegetação nativa realiza a interferência direta nos eventos pluviais com o processo de interceptação. Uma parcela das águas pode ser retida, armazenada e evaporada antes mesmo de atingir o solo. Ao removê-la, são intensificados os processos de obstrução de possibilidade de infiltração e aumento do escoamento superficial.

As cidades, além de representarem a degradação ambiental imposta pelo modo de vida da sociedade moderna, concentram a maior parte da população em seus territórios. No Brasil, de acordo com os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), cerca de 85,71% da população vivem em áreas urbanas (IBGE, 2015).

Viver nesse ambiente pode muitas vezes representar um risco à segurança e à qualidade de vida dessa população, por ser um cenário propício à determinados embates ecológicos (OLIVEIRA e HERRMANN, 2006). Uma vez que é nesse ambiente que toda modificação no ciclo hidrológico acontece, consequentemente, a vulnerabilidade desses espaços à eventos extremos de alagamentos e enchentes será maior, expondo assim a maior parte da população a esses perigos. Interferências humanas projetadas de forma a reproduzir o ambiente natural minimizam os impactos no ciclo hidrológico, e consequentemente, amenizam os riscos para a sociedade e para o meio ambiente em geral (FRITZEN e BINDA, 2011).

1.2. Eventos de precipitação e desastres de natureza hidrológica

Pode-se definir como desastre o “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.” (CASTRO, 2007, p. 2),

Tais desastres podem ser classificados principalmente como: naturais, humanos ou mistos. Dentre os desastres naturais, ou seja, aqueles produzidos por fenômenos de desequilíbrio da natureza,

há a classificação de acordo com sua causa primária, podendo ser , divididos em 4 (quatro) origens, relacionados à:

- 1- *origem sideral*, ou seja, produzidos pelo impacto de meteoritos sobre a superfície do planeta;
- 2- *geodinâmica terrestre externa*, relativos à fenômenos meteorológicos, dentre eles as chuvas e as inundações;
- 3- *geodinâmica terrestre interna*, ou relativos a fenômenos tectônicos, como terremotos e tsunamis; e
- 4- *desequilíbrios na biocenose*, relacionados à pragas animais e/ou vegetais (CASTRO, 2007).

Os desastres de natureza hidrológica se enquadram como desastres naturais relacionados com a geodinâmica terrestre externa (classificação 2), pois são relativos à fenômenos meteorológicos, dentre eles as chuvas e as inundações.

Os eventos de precipitação são aqueles relacionados à toda ocorrência de água proveniente do meio atmosférico, caracterizada como uma das fases do ciclo hidrológico. Suas principais características atribuídas são: volume, duração e distribuição espacial e temporal. (MEDEIROS, 2013).

As inundações são definidas de acordo com o Manual de Desastres, elaborado em 2003 pelo Ministério da Defesa Civil, como “um transbordamento de água proveniente de rios, lagos e açudes” e possuem como causa “a precipitação anormal de água, que ao transbordar dos leitos dos rios, lagos, canais e áreas represadas, invade os terrenos adjacentes, provocando danos”.

Porém, apesar de ocorrerem de forma natural, as consequências de ocorrências das inundações são agravadas pelas interferências humanas no sistema. Conforme Castro (2007, p. 9) “a tendência moderna é considerar que, na sua grande maioria, os desastres, hoje classificados como naturais e antropogênicos, na realidade podem ser classificados como mistos”.

Portanto, é importante entender que a combinação entre esses eventos pluviométricos extremos e a realidade criada pelo homem, principalmente nos centros urbanos, pode causar consequências e desastres de características únicas.

Segundo o Manual de Desastres (2003), os principais efeitos adversos associados aos desastres naturais relacionados com o incremento da precipitação hídrica e inundações são elencados, como:

Normalmente, as inundações provocam grandes danos materiais e, dependendo de sua violência, graves danos humanos. Quando extensas, as inundações destroem ou danificam plantações e exigem um grande esforço para garantir o salvamento de animais, especialmente bovinos, ovinos e caprinos. Em áreas densamente habitadas, podem danificar ou destruir habitações mal localizadas e pouco sólidas, bem como danificar móveis e outros utensílios domésticos. O desastre prejudica a atuação dos serviços essenciais, especialmente os relacionados com a distribuição de energia elétrica e com o saneamento básico, principalmente distribuição de água potável, disposição de águas servidas e de dejetos e coleta do lixo. Normalmente, o fluxo dos transportes e das comunicações telefônicas é prejudicado. O alagamento de silos e armazéns causa danos às reservas de alimentos estocados. As inundações também contribuem para intensificar a ocorrência de acidentes ofídicos e aumentar o risco de transmissão de doenças veiculadas pela água e pelos alimentos, por ratos (leptospirose), assim como a ocorrência de infecções respiratórias agudas – IRA (MINISTÉRIO DA DEFESA CIVIL, 2003, p. 41).

No Plano de Contingência a Desastres Naturais na Atenção Primária em Saúde do Município do Rio de Janeiro (2018) foram definidos 3 (três) fatores de risco como os principais contribuintes para a ocorrência de desastres naturais na cidade relacionados a enchentes: o padrão de desenvolvimento, o crescimento e distribuição populacional e a degradação do meio ambiente. Permeando por dentre esses fatores principais, estão interferências humanas diretas como: a impermeabilização do solo, o descarte inadequado de resíduos sólidos, o sistema de drenagem insuficiente, a distribuição irregular de comunidades de baixa renda, entre outras questões.

Portanto, um desastre não é somente um evento físico associado a uma ocorrência pluviométrica (como no caso alagamentos e enchentes), mas ele está diretamente ligado às condições de interferência humana e grau de vulnerabilidade do ambiente no qual o evento ocorre.

Nos últimos tempos essas alterações no clima e os prejuízos para a sociedade tem se tornado cada vez mais evidentes e frequentes. Dentre as ocorrências recentes relacionadas à extremos de chuvas em centros urbanos, pode-se citar o evento na Europa em julho de 2021, que afetou principalmente a Alemanha, Bélgica, Luxemburgo e Países Baixos com perdas humanas e materiais (SEVILLANO, 2021) e a tragédia ocorrida na cidade metropolitana de Petrópolis em fevereiro de 2022, que deixou 233 vítimas e danos irreversíveis à estrutura da cidade (BRASIL, 2022).

1.3. Vulnerabilidades das cidades às mudanças climáticas

As mudanças climáticas podem ser definidas como a mudança no estado do clima que podem ser identificadas e que persistem por um período extenso, normalmente décadas ou mais. A mudança no clima pode se dar por processos naturais ou por interferências antropogênicas (IPCC, 2022).

Em 1988, foi estabelecido o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC – Intergovernmental Panel of Climate Change) pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). o IPCC tinha como principal objetivo avaliar os trabalhos do meio científico elaborados sobre o tema, de modo a obter conclusões sobre os cenários de mudanças climáticas para o futuro.

No ano de 2007, o quarto relatório do IPCC AR4 teve, dentre suas principais conclusões que, com uma confiança acima de 90%, o aquecimento global dos últimos 50 anos foi causado por ações humanas. O último relatório do IPCC AR6, publicado em 2021, confirma a influência das ações humanas na alteração do clima em escalas sem precedentes nos últimos 2000 anos (IPCC, 2021).

As ações humanas estão principalmente associadas ao aumento expressivo das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Tais gases possuem sua principal fonte na queima de combustíveis fósseis, no desmatamento, nas atividades agropecuárias e na expansão da ocupação urbana. A maior concentração na atmosfera terrestre vem se dando desde o aumento expressivo dessas atividades após a revolução industrial no final do século XVIII.

Associados principalmente ao gás carbono (CO₂) e ao metano (CH₄), esses gases são nomeados como gases estufa pois são capazes de reter o calor do sol na atmosfera terrestre.

Dentre os principais dados do sexto relatório do IPCC AR6 sobre as mudanças climáticas e disseminadas dos últimos anos estão: o fato de que cada uma das últimas quatro décadas foi mais quente que todas as anteriores; o aquecimento dos continentes, entre 2011 e 2020 de 1,59 °C e dos oceanos de 0,88 °C; o aumento do nível do mar em 20 cm entre 1901 e 2018; a cobertura de gelo marinho no Ártico possuindo sua menor extensão desde 1850.

Relacionada à eventos hidrológicos extremos, as tendências são de mudanças para o ciclo hidrológico mundial como um todo nos continentes. O sexto relatório possui um capítulo exclusivo para a descrição dessas mudanças em escala global, bem como suas principais mudanças projetadas para diferentes cenários e localidades.

Na área sudeste da América do Sul (*Southeastern South America – SES*) é registrado o aumento da precipitação média e extrema desde 1960. A intensidade e frequência desses eventos de precipitação intensa e consequentes alagamentos possuem projeções de aumento para um cenário de elevação de 2° C, ou mais, na temperatura mundial (IPCC, 2021).

No estudo das mudanças climáticas, a vulnerabilidade é o grau em que um determinado sistema é suscetível e/ou incapaz de lidar com os efeitos adversos das alterações do clima (SMIT et al. 2001). A supressão do ecossistema local em decorrência do desenvolvimento urbano desenfreado e sem planejamento tornam esses espaços mais suscetíveis às problemáticas, como: ilhas de calor, poluição do ar, inundações e outros (PBMC, 2016).

Após a percepção de tais riscos, durante a 21ª Conferência do Clima (COP-21), foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU) o Acordo de Paris, que definiu que o aquecimento global do planeta deveria ser limitado à uma variação de temperatura de 2°C e, se possível, 1,5° C em relação aos níveis de temperatura pré-industriais. Essa meta atribuiu a todo o regime internacional desafios relacionados a medidas mitigatórias e reducionistas para com as emissões de gases de efeito estufa. Porém, é uma conclusão consolidada também que algumas emissões passadas já se tornaram irreversíveis e algumas consequências como o aquecimento da temperatura média global, o degelo e o aumento do nível do mar são realidades imutáveis.

Portanto, em paralelo às medidas de redução de emissões para a estabilização do cenário de aquecimento global, são necessárias aplicações de ações adaptativas às mudanças climáticas, que já estão consolidadas e gerando consequências atualmente, visando, em ambos os casos, o abrandamento dos danos e a diminuição de perdas humanas e econômicas.

1.4. Sistemas de microdrenagem urbana

O Manual de Saneamento da Fundação Nacional da Saúde define o manejo de águas pluviais urbanas, em conjunto com a drenagem, como o conjunto de serviços e atividades, infraestrutura e instalação de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e destinação final das águas pluviais drenadas em áreas urbanas (BRASIL, 2015).

Esses sistemas de drenagem podem ser divididos principalmente em dois grupos: as redes de macrodrenagem e as redes de microdrenagem. O primeiro se refere aos escoamentos mais abrangentes e volumosos, como os cursos d'água bem definidos naturalmente. Já o segundo são aplicações em áreas sem uma definição de curso natural, mas que são habitadas e necessitam de uma infraestrutura de manejo de águas.

Essa infraestrutura com um caráter mais artificial geralmente segue a demarcação das vias, pois tem como principal função a captação das águas pluviais da rede primária e sua condução à rede de macrodrenagem. Segundo o Manual de Saneamento da Fundação Nacional da Saúde:

Microdrenagem ou sistema de drenagem inicial, ou ainda sistema coletor de águas pluviais, é aquele composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias de águas pluviais e também canais de pequenas dimensões. Este sistema é dimensionado para o escoamento de águas pluviais, cuja ocorrência tem um período de retorno entre dois e cinco anos. Quando bem projetado, minimiza consideravelmente os alagamentos na área urbana, evitando as interferências no tráfego de pedestres e de veículos e danos às propriedades públicas e privadas (BRASIL, 2015, p 288).

Segundo o manual, alguns dos mais importantes princípios da drenagem urbana são a não transferência dos impactos à jusante, a não ampliação das cheias naturais e a proposta de medidas de controle para o conjunto da bacia (BRASIL, 2015).

Porém, quando a implementação desse sistema de drenagem se apresenta como ineficiente ou inexistente, pode haver problemáticas relacionadas à formação de ilhas de calor, erosão e sedimentação, alagamentos e enchentes (MIRANDA e DECESARO, 2018).

As ilhas de calor estão associadas à alta taxa de impermeabilização e ao rápido volume de escoamento superficial, de modo a acentuar problemas erosivos e carreamento de solos nos corpos hídricos. Alagamentos, enchentes e inundações urbanas têm sido consequências sobretudo de alterações antrópicas, como relacionadas à: sistemas de drenagem subdimensionados, ocupação humana em áreas de risco, retirada de cobertura vegetal nativa e, o acúmulo de resíduos urbanos em locais impróprios.

Destacam-se na discussão, principalmente, as questões que interferem diretamente no sistema de drenagem urbana, sendo elas: o aumento dos eventos pluviométricos extremos e, consequentemente, o aumento de enchentes e inundações, as características de permeabilidade do solo local e as possibilidades de ações de modelo adaptativo à infraestrutura de escoamento de águas pluviais, como os jardins de chuva.

1.5. Sistemas de biorretenção

Sistemas de drenagem clássicos se baseiam em dois sistemas interligados: o de macrodrenagem e o de microdrenagem. Esse modelo segue a filosofia do rápido escoamento das águas, que além de associar um caráter artificial ao processo, gera problemas ao meio urbano com o aumento do volume do escoamento superficial e carreamento de material potencialmente poluidor para os mananciais receptores à jusante.

De modo a corrigir e mitigar as questões associadas a esse tipo de gerenciamento das águas, foram desenvolvidas técnicas denominadas como Soluções baseadas na Natureza (SbN's), chamadas Técnicas Compensatórias (TC's). A proposta de implantação das TC's é a de seguir o caminho contrário das abordagens clássicas e restaurar o máximo possível as condições naturais do ciclo da água (Baek et al. 2015, Chang et al. 2018).

Os sistemas de biorretenção são considerados como técnicas compensatórias de drenagem urbana de controle na fonte, com o objetivo principal de preservar os mecanismos naturais de escoamento, com funções vantajosas ao processo, como na retenção temporária das águas, filtração e melhoria da infiltração da água no solo.

Para a execução, o sistema de forma geral é composto por uma área escavada preenchida com material granular, que permita a infiltração das águas e seja dimensionado de acordo com as chuvas a serem enfrentadas na região de instalação.

Apesar de no Brasil esse processo ser pouco difundido, em países mais desenvolvidos esse tipo de técnica vem sendo aplicada como resposta de projeto às problemáticas de drenagem urbana. Práticas de baixo impacto e/ou verdes são eficientes no combate dos altos volumes de escoamento superficial, na redução da duração e frequência dos picos de fluxo e no tratamento inicial das águas antes do despejo final nos corpos hídricos (MOURA, 2013).

A biorretenção é uma técnica que pode ser também enquadrada entre as Melhores Práticas de Manejo (MPM). Segundo Novotny et. al (2010), vantagens são destacadas na aplicação dessas práticas no manejo das águas pluviais no meio urbano, como principais: medidas de adaptação ao ciclo hidrológico natural, diminuição dos malefícios associados à intensa impermeabilização das superfícies e proteção do perfil dos canais naturais (NOVOTNY et. Al, 2010 *apud* MOURA, 2013).

Oliveira (2021) avaliou o comportamento de sistemas de biorretenção em duas escalas: reduzida (laboratório) e real (campo). Em relação aos cenários futuros de mudanças climáticas, com o objetivo de avaliar se os sistemas de biorretenção poderiam ser uma alternativa aos possíveis problemas de segurança hídrica em meios urbanos, com a conclusão de que:

Os resultados mostraram que sistemas de biorretenção são eficientes na redução da vazão de pico e quando dimensionados com reservatório podem contribuir para o aumento da segurança hídrica a nível local, além de contribuir para retenção de escoamento na fonte e reduzir a sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana (OLIVEIRA, 2021, p. 3).

Essa leitura integrada da drenagem urbana com o escoamento natural do ciclo hidrológico tem a capacidade de mitigar os problemas associados às altas taxas de urbanização das últimas décadas. Pode-se considerar portanto, como uma solução holística e sustentável ao reaproximar as cidades às condições de pré-urbanização.

1.6. Jardins de chuva

Os jardins de chuva são o mais popular modelo de sistema de biorretenção (MELO, 2014). Segundo Li e Zhao (2008), são definidos como uma estrutura hidrológica funcional, que através do

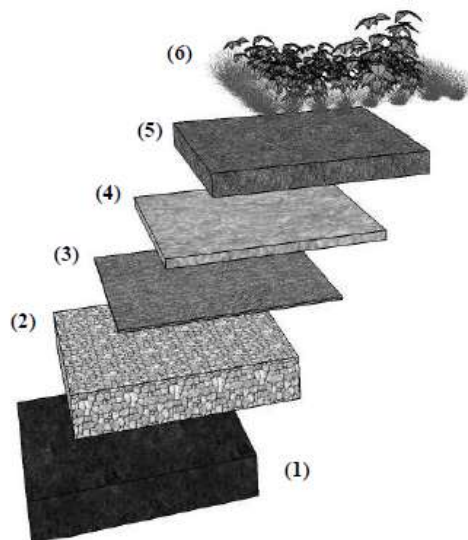
sistema solo-planta-atmosfera e processos de infiltração, reduz o volume escoado e protege as águas subterrâneas urbanas.

Como sistema de biorretenção de controle na fonte, os jardins de chuva são compostos por uma depressão (de profundidade definida em seu dimensionamento) preenchida por camadas intermediárias e coberto por uma camada vegetal.

Segundo a adaptação feita por Melo (2014) a proposta de estrutura básica para jardins de chuva de Dunnet e Clayden (2007) caracteriza-se por 6 (seis) camadas de preenchimento em sua composição (como demonstrado na Figura 2):

- (1) Camada final, que pode ter objetivo de armazenamento da água, transferência como recarga subterrânea ou um sistema combinado que integre essas duas finalidades;
- (2) Brita ou cascalho, que armazenam a água temporariamente;
- (3) Manta geotêxtil, que retém os finos que passaram pelo filtro superior;
- (4) A areia, camada com objetivo filtrante que estimula infiltração e redistribuição da água no solo;
- (5) O substrato, camada de solo que provém os nutrientes necessários para a camada mais externa;
- (6) A vegetação, camada mais superficial do jardim.

Figura 2 - Camadas propostas para um jardim de chuva



Fonte: MELO, 2014.

A cobertura vegetal possui fundamental importância no projeto, pois além de atuar hidraulicamente com a biorretenção e evapotranspiração das águas, aumenta a permeabilidade do solo, e auxilia na infiltração da água no jardim. Além disso, a vegetação aumenta as áreas de cobertura verde nos centros urbanos, o que gera bem-estar, valorização estética e ecológica dos espaços.

Enquanto possíveis impactos negativos, Flynn e Traver (2013) levantaram que as principais possibilidades de implicações ocorrem nas fases de projeto e construção, no sentido de comprometer o custo e o ciclo de vida do projeto como um todo.

É importante salientar também que o jardim de chuva é um sistema limitado e dimensionado para uma área específica de contribuição. Segundo Christensen e Schmidt (2008) a sua área de absorção pode variar entre 5 e 20% em relação à superfície impermeável contribuinte. Portanto, para resultados expressivos no meio urbano, faz-se necessário a distribuição e a ampliação da instalação da medida, de modo a ampliar a contribuição de demais áreas no aumento dos processos de infiltração e na redução dos volumes de escoamento superficial.

Desse modo, os jardins de chuva apresentam forte potencial como ferramenta adaptativa às mudanças do clima e aos eventos hidrológicos extremos associados, de forma bastante aplicada aos centros urbanos, em resposta às vulnerabilidades hidrológicas com a atuação da biorretenção.

2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

Após pesquisas do grupo “Chuvas” do PDPA (2021) foram definidos alguns parâmetros que devem ser avaliados visando a escolha adequada de um local para a implantação dos jardins de chuva (Quadro 1). Tais parâmetros serão a base de avaliação das localidades e de desenvolvimento do projeto de dimensionamento.

Foram agrupados em 5 (cinco) categorias, sendo elas: pré-dimensionamento, tipologia, solo e vegetação, hidrologia e compatibilização e manutenção. Essas informações serviram de referência para a etapa de desenvolvimento do projeto do jardim de chuva, de modo a auxiliar na tomada e decisão e na avaliação das condições de implantação.

Quadro 1 - Parâmetros a serem observados para implementação de jardins de chuva

Pré-dimensionamento	Tipologia	Solo e vegetação	Hidrologia	Compatibilização e manutenção
Área da bacia	Tamanho do jardim de chuva	Capacidade de infiltração no solo	Nível do lençol freático	Presença de instalações subterrâneas
Declividade do terreno	Flexibilidade do desenho	Fragilidade do solo à ação da água	Afluência poluída	Risco sanitário e sedimentológico por falha de operação
Ausência de local de destino para a descarga do volume regularizado de água	Limites de altura e profundidade	Permeabilidade do solo	Afluência com altas taxas de resíduos	Esforços e tráfego intensos
Disponibilidade de área				
Restrição de urbanização				

Fonte: Adaptado de PDPA (2021).

No presente capítulo foram avaliados os parâmetros pertencentes aos grupos de pré-dimensionamento e tipologia, de modo a caracterizar o local selecionado para a elaboração do projeto de um jardim de chuva. Tópicos correspondentes às demais categorias são discutidos nos capítulos posteriores, sobretudo quanto ao dimensionamento de técnicas para a implantação do jardim de chuva.

2.1. Caracterização das condições do sistema de drenagem no Município de Niterói

O Município de Niterói vem sofrendo nos últimos anos cada vez mais com eventos de enchentes e alagamentos, sobretudo na região central da cidade. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (2015), as cheias têm sido observadas com mais frequência, principalmente devido ao aumento do seu processo de urbanização e do aumento demográfico de forma desordenada e sem avaliações de potencialidades e restrições territoriais.

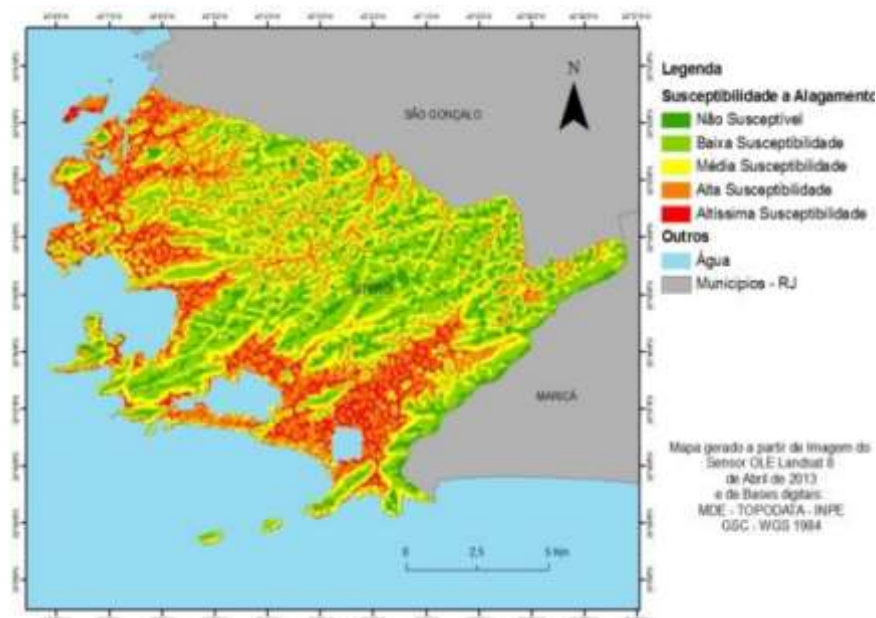
Os problemas associados ao funcionamento dos canais de drenagem pluvial começam quando a porcentagem de área ocupada ultrapassa 10% da área total da bacia (CHRSTOFOLETTI, 1980). O Município de Niterói apresenta cerca de 45% da bacia ocupada. Quando relacionado à bairros populosos, como Icaraí, cerca de 70% ou mais encontram-se como áreas ocupadas pela urbanização (Plano Municipal de Saneamento Básico, 2015).

O jardim de chuva, enquanto dispositivo de auxílio na microdrenagem urbana, tem característica compensatória de áreas impermeáveis. Porém, para o entendimento pleno de seu funcionamento após inserido na malha municipal, é necessário o levantamento das características principais da infraestrutura de microdrenagem local existente.

O motivo associado ao problema de enchentes e alagamentos no local é o fato da rede instalada ser antiga e não atender à demanda atual da região. Isso se dá porque sua construção se deu em uma época em que a ocupação do solo era completamente diferente, com maiores coberturas naturais e áreas permeáveis, de modo a não atender assim às demandas atuais da bacia.

Neto et al. (2014), baseados em dados extraídos do MDE-TOPODATA de Valeriano (2004) e em mapas de uso e cobertura do solo construídos por Seabra et al. (n.d.), a partir de uma análise multicritério, construíram uma metodologia que permitiu avaliar e identificar quais áreas do município de Niterói estão mais suscetíveis aos alagamentos (Figura 3).

Figura 3 - Mapeamento de suscetibilidade a alagamentos no Município de Niterói – RJ



Com base no mapa de susceptibilidade à alagamentos no município de Niterói, pode-se perceber que o bairro de Icaraí se encontra em uma área identificada majoritariamente como “altíssima suscetibilidade” à eventos de alagamento.

Esse tipo de análise se faz cada vez mais necessária para que os tomadores de decisão possam avaliar quais áreas apresentam maiores vulnerabilidades à determinadas consequências das mudanças do clima e consigam direcionar as medidas adaptativas de forma mais assertiva.

2.2. Definição do local para o projeto do jardim de chuva

PAULO e SANT’ ANA (2021) definiram 10 pontos de análise no município de Niterói, a partir de metodologia de pesquisa de opinião, dados do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e notícias de veículos de imprensa comuns. Esses 10 pontos foram submetidos à Prefeitura do Município de Niterói com o objetivo de validar a informação gerada e apontar, entre eles, os locais mais críticos dentre as possibilidades levantadas.

Sendo assim, foram apontados 4 (quatro) pontos (Tabela 1 e Figura 4) entre os 10 (dez) propostos, com a justificativa de não serem locais onde a implantação do jardim de chuva interferiria na acessibilidade local de pedestres e veículos.

Tabela 1 - Pontos selecionados pela Prefeitura de Niterói para visitação com potencial de implantação de jardins de chuva

Rua	Bairro
Alameda São Boaventura com Rua 22 de Novembro	Fonseca
Av. 7 de Setembro com Rua Nóbrega	Icaraí
Rua Dr. Paulo César com Rua Mário Alves	Icaraí
Av. Roberto Silveira com Rua Presidente Backer	Icaraí

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 4 - Mapa com seleção de locais de inspeção para implantação do jardim de chuva



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Foram realizadas inspeções nos locais selecionados de forma a obter informações *in loco* para avaliação das condições das áreas de entorno, quanto à disponibilidade de espaços, e do sistema de microdrenagem.

No dia 18 de maio de 2022, foi realizada a visita de 3 (três) dos 4 (quatro) pontos propostos pela Prefeitura de Niterói, com exceção da Alameda São Boaventura com a Rua 22 de Novembro, por entender-se que, como ponto de grande movimentação, com trânsito acentuado de pessoas e veículos, não seria o ideal para a instalação do projeto pioneiro do jardim de chuva no local.

No ponto da Av. 7 de Setembro com a Rua Nóbrega (Figuras 5 e 6), foi identificado pouca disponibilidade de área para construção nas calçadas avistadas, bem como por possuir elevada inclinação, o que pode acentuar problemas de aumento da velocidade de escoamento superficial de modo a favorecer processos erosivos, além da dificuldade de processos de escavação para implantação do jardim de chuva.

Figura 5 - Av. 7 de Setembro com Rua Nóbrega – calçada com pouca disponibilidade



Fonte: Compilação da autora, 2022.

Figura 6 - Av. 7 de Setembro com Rua Nóbrega – localização



Fonte: Google Maps (2022).

A Rua Dr. Paulo César com Rua Mário Alves (Figuras 7 e 8) foi identificada uma área de interesse para a construção de um jardim de chuva, porém com uma geometria um tanto particular que requereria dimensões próprias para o local. Sendo assim, foi acordado que, por se tratar de um projeto

pioneiro no município de Niterói, prioriza-se a seleção de um local que permita o desenvolvimento de um modelo de jardim de chuva replicável em outros pontos da cidade em momentos futuros.

Figura 7 - Rua Dr. Paulo César com Rua Mário Alves



Fonte: Compilação da autora, 2022.

Figura 8 - Rua Dr. Paulo César com Rua Mário Alves – localização



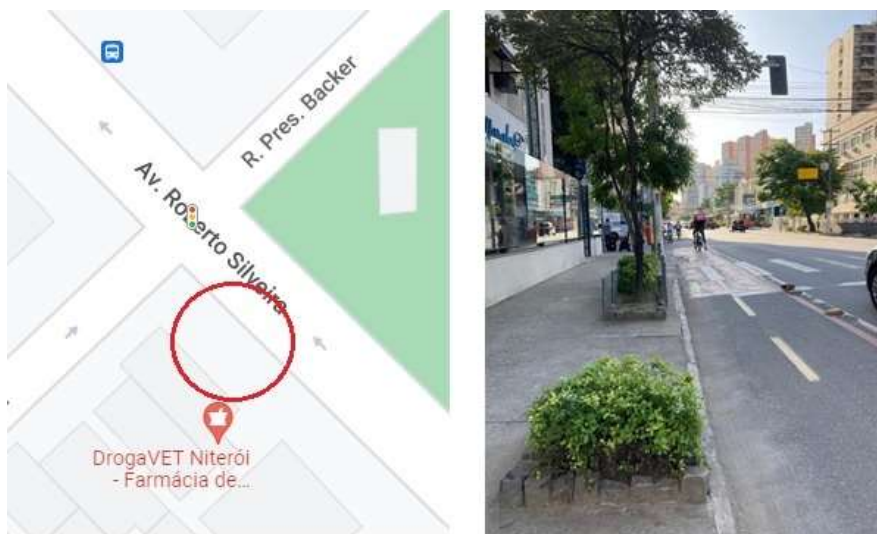
Fonte: Google Maps (2022).

Portanto, dentre as áreas identificadas, foi selecionado a utilização como projeto piloto o local entre a Avenida Roberto Silveira com a Rua Presidente Backer. Essa seleção foi baseada na disponibilidade de área para aplicação do jardim nas calçadas da rua, maior visibilidade da população local e por representar um dos pontos mais críticos de alagamentos intensos entre as possibilidades apontadas (com base em conhecimento comunitário da população niteroiense).

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2015) apresenta a rede existente e aponta, como uma das quatro áreas críticas, a rua Presidente Backer no trecho com a Avenida Roberto Silveira.

No local, existem diversos canteiros com vegetação e solo permeável (Figura 9), de modo a facilitar o aproveitamento dos espaços, com abrangência para a aplicação do jardim de chuva. O local específico definido se localiza na calçada esquerda da via, com aproveitamento dos jardins existentes para a elaboração do projeto e implantação do sistema de biorretenção ou jardim de chuva.

Figura 9 - Local definido de implantação do jardim de chuva na Avenida Roberto Silveira com a Presidente Backer



Fonte: Google Mapas e compilação da autora, 2022.

A seleção de localização do projeto piloto é proposta também como um modelo de replicação para determinadas áreas da cidade de Niterói, de modo a contribuir junto aos processos de infiltração da água da chuva no solo com determinada capacidade de armazenamento e mitigação de eventos de alagamentos no município.

Desse modo, baseando-se na Tabela 1, foram utilizados alguns dos parâmetros apresentados para a avaliação da melhor localidade para a implementação do jardim de chuva dentre as apontadas. Os parâmetros principais utilizados para essa avaliação foram: declividade do terreno, flexibilidade do desenho e a disponibilidade de área.

Tais parâmetros foram apontados na análise de cada uma das localidades visitadas e classificadas de forma binária (atende ou não atende). O resultado dessa avaliação consta na Tabela 2.

Tabela 2 - Critérios de seleção de áreas para o projeto do jardim de chuva em Niterói-RJ

Parâmetros / Locais	Av. 7 de Setembro com Rua Nóbrega	Rua Dr. Paulo César com Rua Mário Alves	Avenida Roberto Silveira com a Presidente Backer
Declividade do terreno	Sim	Não	Sim
Flexibilidade do desenho	Sim	Não	Sim
Disponibilidade de área	Não	Sim	Sim

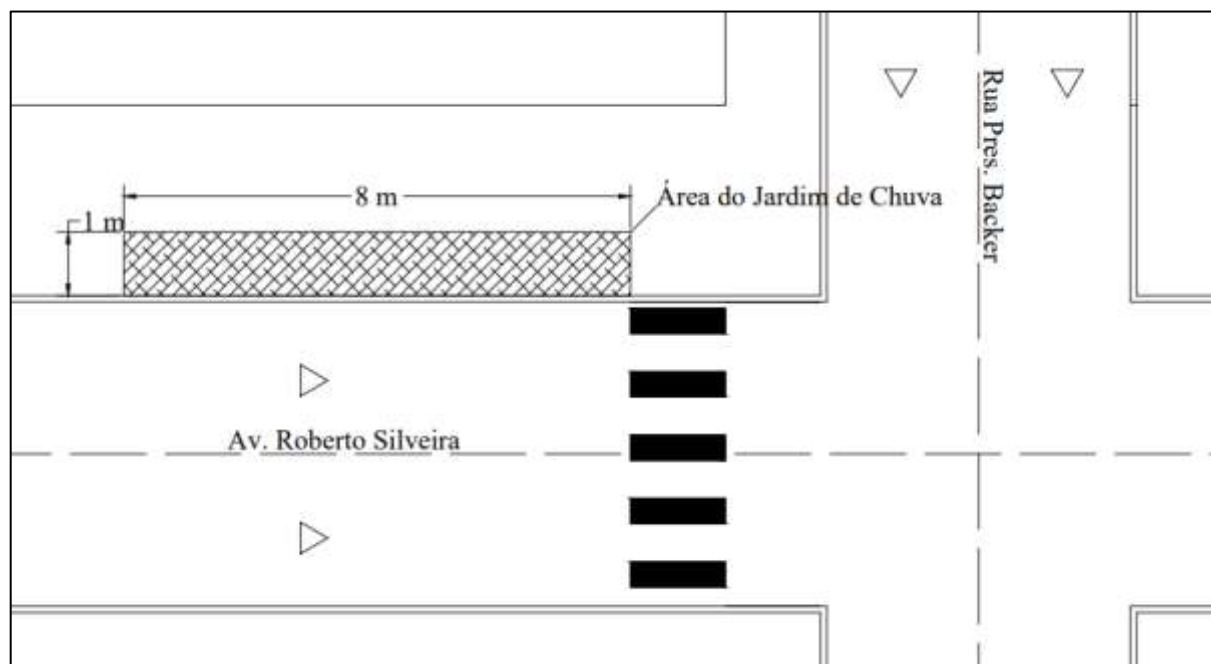
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os parâmetros escolhidos estão entre os grupos de pré-dimensionamento e tipologia do jardim de chuva, conforme o Quadro 1. Isso porque, para as escolhas prévias esses são os parâmetros que permitem uma avaliação da situação. Os parâmetros que compõem os demais subgrupos serão levantados para o ponto escolhido nos capítulos subsequentes.

A avaliação dos parâmetros acima, portanto, ratifica a escolha da Avenida Roberto Silveira com a Presidente Backer como ponto de aplicação do jardim por se enquadrar melhor em todos os critérios de análise utilizados.

Para o local selecionado considera-se a possibilidade de junção dos jardins de canto existentes na calçada (Figura 9), com uma área disponível de dimensões de 8 metros de comprimento e 1 metro de largura para a o projeto de implantação do jardim de chuva (Figura 10).

Figura 10 - Projeção de área do Jardim de Chuva na Avenida Roberto Silveira com a Presidente Backer



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

2.3. Dados de limpeza urbana

Um fator agravante do mau funcionamento dos sistemas de drenagem urbana é o acondicionamento inadequado de resíduos sólidos (RUFINO et al. 2016). Resíduos de origem domiciliar, poda de vegetações, varrição, entre outras fontes, em situações de precipitação elevada podem ser carregados pelo fluxo d'água do escoamento superficial, ocasionando obstrução parcial ou total dos canais de microdrenagem.

Para o pleno funcionamento do sistema de drenagem as atividades de manutenção do meio urbano devem apresentar periodicidade que atenda às demandas de geração de resíduos da área, bem como possuir planos de atuação de caráter mitigador em casos de obstrução de bueiros e bocas de lobo.

Portanto, para a obtenção dos dados necessários a respeito da limpeza do ambiente, foram elaborados alguns questionamentos a serem encaminhados à Companhia Municipal de Limpeza Urbana de Niterói (CLIN), com objetivo de melhor compreensão do contexto local, como:

- I. Qual a periodicidade de limpeza das vias (varrição)?
- II. Qual a periodicidade de coleta de resíduos sólidos?
- III. É feita alguma limpeza específica em ocorrências de chuvas ou enchentes?
- IV. Existe alguma limpeza relacionada à desobstrução dos canais de drenagem da cidade?

Uma vez definida a área de implementação do projeto do jardim de chuva, as perguntas foram direcionadas diretamente para o bairro de Icaraí, onde se localiza a Avenida Roberto Silveira.

O município de Niterói possui uma divisão específica para o planejamento de atividades de limpeza, chamados Distritos de Limpeza Urbana (DLU). No total, são 14 divisões de planejamento na cidade. O bairro de Icaraí, especificamente, abrange duas divisões: o 4º e o 6º DLU, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Distritos de Limpeza Urbana (DLU) de Niterói



Fonte: CLIN (2022).

Foi informado que existem dois tipos de varrição na cidade, a manual e a mecanizada. A manual é realizada diariamente pelos garis, de acordo com as programações do 4º e do 6º DLU. Já a mecanizada é feita com caminhão varredeira autopropelida com frequência de dias alternados, apenas nas vias públicas principais, incluindo a Avenida Roberto Silveira.

A periodicidade da coleta de resíduos sólidos em Niterói é realizada de acordo com a demanda dos bairros. Como Icaraí está entre os bairros com maiores volumes gerados, a coleta dos resíduos é realizada de segunda à sábado nos horários noturnos, a partir das 20 horas. Essa programação se dá de acordo com os dados apresentados na Figura 12.

Figura 12- Periodicidade de coleta domiciliar na cidade de Niterói



Fonte: CLIN (2022).

Foi declarado que é realizada uma programação especial para que as áreas em estado mais crítico da cidade sejam atendidas. São realizadas raspagens das vias (em caso de lama), lavagem com caminhão pipa (com água de reuso) e varrição extraordinária, independente da programada por cada DLU.

Foi informado que existe uma equipe nomeada Zeladoria, fruto da união de forças entre a Companhia Municipal de Limpeza Urbana de Niterói (CLIN) e a Secretaria de Conservação e Serviços Públicos de Niterói (Seconser), que realiza ações de melhorias e manutenções em todas as áreas urbanas do município, dentre elas, limpeza de canais e valas de drenagem, desobstrução de sistemas de micro drenagem e limpeza de bueiros.

Todas as respostas recebidas pela CLIN encontram-se integralmente e sem alterações no Anexo I.

Com as informações recebidas pode-se avaliar que a prefeitura de Niterói realiza gestão considerada adequada e satisfatória das suas atividades de limpeza e coleta urbanas, de modo a auxiliar no combate de impactos negativos no sistema de microdrenagem das áreas da cidade relacionados à eventos pluviométricos extremos. É notória, portanto a importância da gestão eficiente desses serviços para que sejam evitados cenários de ocorrência de alagamentos e enchentes, sobretudo na região central do município de Niterói.

3. GRANDEZAS RELACIONADAS À PRECIPITAÇÃO

A caracterização do regime de chuvas é indispensável para a elaboração de projetos de estruturas de canais, em geral, de contenção de águas, como: barragens, elementos de drenagem ou obras de controle de erosão (MELLO et al., 2001).

As especificidades de cada projeto irão definir os valores específicos associados a cada variável a ser levantada, mas de uma forma geral, os parâmetros que definem as chuvas são: a intensidade, o tempo de duração e o período de retorno ou frequência.

3.1. Intensidade e tempo de duração

A intensidade da precipitação é a relação entre a altura pluviométrica e a sua duração (CARVALHO e SILVA; 2006), ou seja, ela expressa a altura da lâmina d'água de um evento em um determinado período de tempo.

O tempo de duração é o tempo contado desde o início até o final do evento de precipitação (CARVALHO e SILVA; 2006). Talvez o mais trivial dos conceitos, ele expressa literalmente o que seu nome propõe. Sua definição é fundamental para o dimensionamento de estruturas de drenagem, pois é através dele que se define quais tipos de eventos serão suportados.

O parâmetro pode ser definido com base em análises estatísticas de eventos ocorridos no local de interesse, desde que se tenham dados suficientes disponíveis para a região. Segundo o item 5.1.3 da NBR 10844 (ABNT, 1989), referente às instalações prediais de águas pluviais, a duração de precipitação para dimensionamento deve ser fixada em 5 minutos.

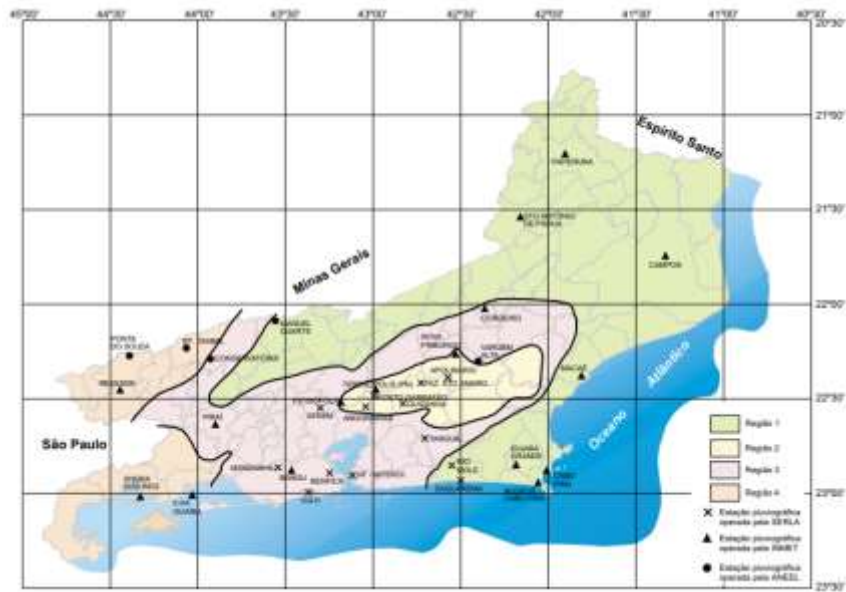
Entendendo a precipitação como uma das variáveis mais importantes para o dimensionamento e levando em conta o caráter da proposta do presente trabalho, para a caracterização da intensidade das chuvas foram consideradas duas metodologias para definição da equação de intensidade-duração-frequência (IDF) das chuvas da região, sendo assim possível comparar os valores obtidos e adotar o resultado que mais satisfaça as premissas definidas pelo presente trabalho. A primeira delas foi baseada no Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro (DAVIS e NARGHETTINI, 2000) publicado pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Mineiras), e a segunda utilizou o software *Pluvio 2.1* desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

3.1.1. Metodologia 1: CPRM

O Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro (DAVIS e NARGHETTINI, 2000) publicado pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Mineiras) tem uma proposta multidisciplinar e apresenta a avaliação de dados pluviométricos de 44 (quarenta e quatro) estações distribuídas pelo estado do Rio de Janeiro, objetivando traçar regiões homogêneas e as suas respectivas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF).

De acordo com o estudo, a equação utilizada para a definição da intensidade de chuvas em Niterói será resultante das estimativas dos parâmetros das distribuições regionais da região homogênea 3 (Figura 13).

Figura 13 - Mapa de regiões homogêneas relacionadas à precipitação no estado do Rio de Janeiro



Fonte: DAVIS e NARGHETTINI, 2000.

As equações (1) e (2) definem as intensidades pluviométricas da região 3. Este trabalho considerou a equação (1), de modo a obter as intensidades de chuva para um tempo de duração (t) para a precipitação de 5 minutos.

$$i = 36,301 \times t^{-0,392} \times P^{0,276} \times \mu, \text{ para } T \leq 100 \text{ e } 5\text{min} \leq t < 1\text{h} \quad (\text{Equação 1})$$

Ou

$$i = 85,264 \times t^{-0,789} \times P^{0,367} \times \mu, \text{ para } T \leq 100 \text{ e } 1\text{h} \leq t < 24\text{h} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

t – Duração da precipitação [s]

P – Precipitação média anual [mm]

μ – Quantil adimensional regional [Tabela 3]

T – Período de retorno [anos]

Tabela 3 - Quantis anuais adimensionais da Região 3

Período de retorno (Anos)	2	5	10	20	50	75	100
Duração							
5 minutos	0,9478	1,1173	1,2668	1,4579	1,8077	2,0110	2,1781
10 minutos	0,9711	1,1354	1,2572	1,3953	1,6175	1,7344	1,8256
15 minutos	0,9645	1,1512	1,2924	1,4550	1,7205	1,8619	1,9729
30 minutos	0,9550	1,1668	1,3325	1,5275	1,8538	2,0308	2,1710
45 minutos	0,9477	1,1858	1,3737	1,5963	1,9713	2,1758	2,3383
1 hora	0,9532	1,1811	1,3578	1,5648	1,9088	2,0946	2,2415
2 horas	0,9377	1,1845	1,3873	1,6344	2,0634	2,3028	2,4955
3 horas	0,9339	1,1866	1,3977	1,6577	2,1147	2,3721	2,5802
4 horas	0,9309	1,1857	1,4005	1,6668	2,1380	2,4049	2,6213
8 horas	0,9176	1,1907	1,4296	1,7334	2,2862	2,6058	2,8680
14 horas	0,9142	1,1983	1,4479	1,7663	2,3477	2,6848	2,9616
24 horas	0,9146	1,2144	1,4719	1,7951	2,3752	2,7071	2,9778

Fonte: DAVIS e NARGHETTINI, 2000.

3.1.2. Metodologia 2: Pluvio 2.1

A segunda metodologia adotada utilizou o software *Pluvio 2.1* que faz parte do projeto Hidros, uma iniciativa desenvolvida pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa que tem por objetivo aplicar modelos para o embasamento da elaboração de projetos hidroagrícolas.

A ferramenta possibilita a caracterização da equação de chuvas intensas em qualquer localidade dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Tocantins (GPRH, 2008) através da interpolação dos parâmetros disponíveis em seu banco de dados. Dessa forma, a equação adaptada de PRUSKI et al. (1997), que caracteriza a intensidade de chuvas, pode ser definida para qualquer local pertencente aos estados citados.

As expressões e parâmetros do programa *Pluvio 2.1* seguem o modelo apresentado na equação (3).

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

K, a, b e c – parâmetros referentes ao local [adimensional]

T – Período de retorno [anos]

t – Duração da precipitação [s]

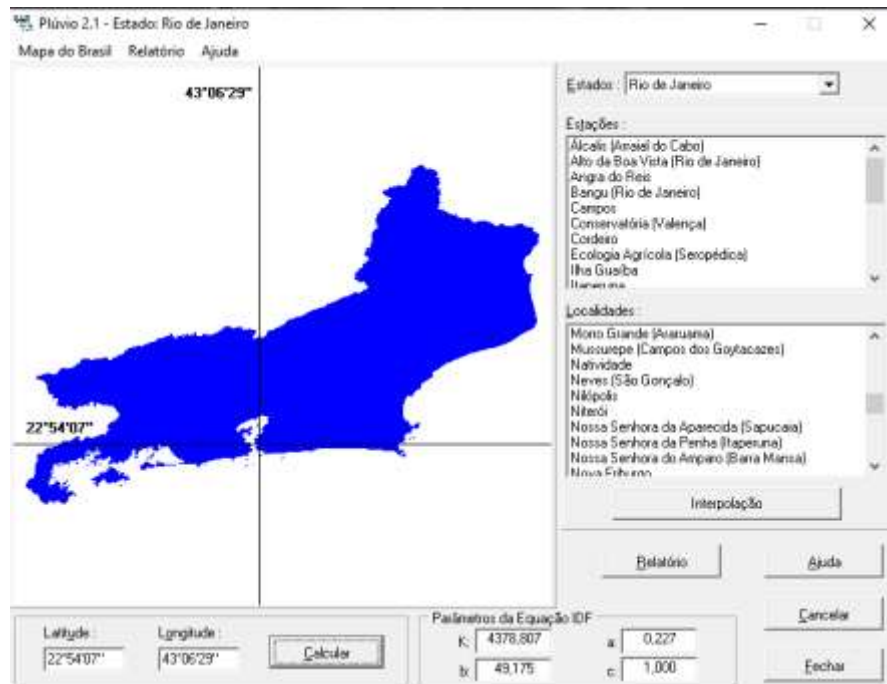
Após acesso (disponível em <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>), foram entradas as coordenadas do local (Tabela 4) onde será realizada a construção do jardim de chuva, na Avenida Roberto Silveira, para a obtenção dos parâmetros necessários (K, a, b e c).

Tabela 4 - Coordenadas geográficas do local de análise

Altitude	Longitude
22°54'7'' S	43°6'29'' O

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 14 - Interface Pluvio 2.1



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Conforme apresentado acima (Figura 14), os parâmetros obtidos foram: $k=4378,807$; $a=0,227$; $b=49,175$; $c=1,0$. Dessa forma, a intensidade média de precipitação para o ponto de construção do jardim de chuva na Avenida Roberto Silveira, de acordo com os dados obtidos pela segunda metodologia proposta, será expressa pela equação (4).

$$i = \frac{4378,807 \times T^{0,227}}{(t + 49,175)^{1,0}} \quad (\text{Equação 4})$$

3.2. Período de retorno

A chuva máxima de um projeto está diretamente associada ao período de retorno. O período de retorno é o tempo médio em que um evento pluviométrico é igualado ou superado pelo menos uma vez ao ano. Estimado em anos, pode ser definido também como o inverso da frequência de um evento pluviométrico.

A frequência é a probabilidade de ocorrência de um evento dentro do período de um ano. Ou seja, um evento com um período de retorno de 50 anos, por exemplo, possui uma frequência de 2% de chance de ocorrência anual.

A definição do período de retorno depende de vários fatores, entre eles a área a ser drenada, o tipo de estrutura a ser instalada (macrodrenagem ou microdrenagem), seu risco de falha associado e as

séries históricas existentes, pois quanto maior, mais resiliente à eventos de características intensas será a estrutura dimensionada.

De acordo com o Manual de Drenagem Urbana do Paraná (2017) o período de retorno utilizado para obras de microdrenagem urbana em áreas comerciais e avenidas varia entre 2 e 10 anos, com um valor recomendado de 2 anos. Já de acordo com as Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de dispositivos de drenagem (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2019), o período de retorno para dispositivos de microdrenagem varia entre 5 e 10 anos dependendo do tipo de dispositivo.

Sendo assim, como uma das propostas deste trabalho é repensar os parâmetros relacionados à frequência dos eventos extremos, serão apresentados os resultados para 2, 5, 10 e 20 anos de período de retorno.

O sexto relatório do IPCC AR6 (IPCC, 2021) afirma que os eventos extremos hidrológicos, tanto de secas quanto de chuvas de intensidade alta, se tornarão cada vez mais frequentes por conta das mudanças climáticas. Portanto, torna-se fundamental, além de avaliar às características locais de implantação da estrutura de drenagem, como do jardim de chuva, entender também os cenários hidrológicos que poderão ser enfrentados em futuros próximos, objetivando assim, a atuação efetiva do elemento para a construção de um meio urbano mais adaptado e capaz de absorver as demandas do ciclo hidrológico.

Uma vez aumentando-se a percepção sobre as realidades e desafios que estão pela frente, são obtidas condições técnicas capazes de auxiliar nas tomadas de decisão referentes às ações de gestão administrativa e planejamento.

3.3. Base histórica de dados: Precipitação média anual, distribuição pelos meses do ano e eventos mais significativos da região

Os dados históricos foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O INMET administra mais de 400 estações distribuídas no Brasil, automáticas ou convencionais. As estações automáticas têm como objetivo informar os dados meteorológicos observados nas estações distribuídas pelo território brasileiro sem que haja necessidade de automação manual. Esses dados, uma vez obtidos, podem ser utilizados para diversos tipos de análises corporativas e/ou acadêmicas.

As informações foram obtidas do endereço eletrônico <<https://bdmep.inmet.gov.br/#>> (acesso em 27 de junho de 2022), onde foram imputadas configurações de dados para a viabilização do *download*. O tipo de pontuação foi definido como vírgula, e o recorte temporário dos dados foi definido como ‘Dados Horários’. O tipo de estação foi definido como ‘Automática’, e de numeração A627, localizada no Município de Niterói-RJ.

Após o *download*, os dados foram analisados e tratados, com a finalidade de facilitar a análise e interpretação. Foi obtida uma divisão mensal do índice de precipitação total (PRCPTOT) referente aos

3 (três) anos analisados na série histórica (Tabela 5). A análise mensal é importante por conta da sazonalidade do regime de chuvas e a possibilidade de visualizar sua distribuição ao longo do ano.

Tabela 5 - Precipitação total acumulada mensalmente, em milímetros, referentes aos anos de 2019, 2020 e 2021.

Anos	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
2019	35,2	219,6	179,6	197,6	79,4	47,6	20,4	69,4	83,8	43	74,2	136,4	1186,2
2020	149,2	302,4	159,8	27,6	106,4	3,4	36,2	96,6	104,2	62	118,2	332,2	1498,2
2021	11,4	112,8	56	53	47	26,8	19,4	26,4	9,8	116,6	118,8	194,6	792,6
Média anual	65,3	211,6	131,8	92,7	77,6	25,9	25,3	64,1	65,9	73,9	103,7	221,1	1159,0

Fonte: BDMEP, INMET; 2019-2021. (<<https://bdmep.inmet.gov.br/#>>)

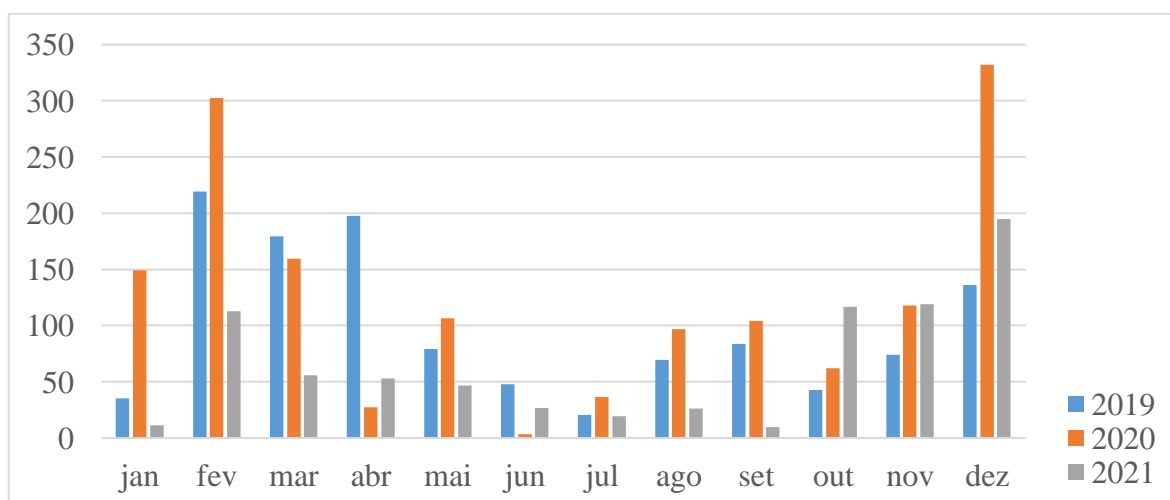
Portanto, como dado de precipitação média anual visando o dimensionamento temos o resultado da média da precipitação acumulada referente aos anos apresentados, ou seja, 1159 mm (milímetros) de chuva.

Em valores absolutos, o ano de 2020 foi o ano que apresentou maior volume de chuva total (1498,2 mm), seguido por 2019 (1186,2 mm) e com uma distância grande para o volume acumulado de 2021 (792,6 mm).

Dentro da análise mensal referente aos três anos acumulados, o mês de dezembro foi o mês com maior incidência pluviométrica acumulada (663,2 mm), seguido de perto por fevereiro (634,8 mm) com uma folga para o terceiro colocado, março (395,4 mm).

O gráfico a seguir reforça visualmente as informações apresentadas, sendo destacados os meses de maiores incidências e diferenciando as discrepâncias de volume entre os anos e a distribuição de chuvas ao longo dos meses.

Gráfico 1 - Precipitação total acumulada mensalmente, em milímetros, referentes aos anos de 2019, 2020 e 2021.



Fonte: BDMEP, INMET; 2019-2021. (<<https://bdmep.inmet.gov.br/#>>)

Apesar dos valores acumulados serem maiores em 2020, o maior evento isolado do período analisado foi registrado no dia 09 de abril de 2019, tal evento teve como volume precipitado 136,2 mm. A Tabela 6 apresenta os 5 (cinco) maiores eventos de precipitação no período entre 2019 e 2021 no Município de Niterói-RJ.

Tabela 6 - 5 maiores eventos de precipitação do período analisado

Data	PRCPTOT (mm)
09/04/2019	136,2
25/12/2020	92,6
02/03/2019	82,2
22/09/2020	81,6
08/12/2020	80,4

Fonte: BDMEP, INMET; 2019-2021. (<<https://bdmep.inmet.gov.br/#>>)

4. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A aplicação do jardim de chuva tem como objetivo principal reverter o processo de intensa impermeabilização do solo nos centros urbanos, no sentido de mitigar as problemáticas relacionadas à drenagem nas cidades.

Essa proposta é aplicada para aumentar a capacidade de infiltração de água no solo, de forma a reestabelecer um fluxo natural impossibilitado pela impermeabilização da superfície: a circulação de água no interior do solo. Tal processo envolve situações de sinergia onde o recurso hídrico e o solo se correlacionam diretamente. Esse vínculo se traduz através de algumas características, como: o escoamento superficial, o volume de armazenamento de água no solo, a capacidade de infiltração e a sortividade.

4.1. Escoamento superficial

O escoamento superficial ou runoff é o fenômeno correspondente ao deslocamento da água sobre a superfície do solo (TUCCI, 2007), representado também como a parcela do volume precipitado que escoar superficialmente em determinadas condições de uso e ocupação do solo. São fatores fisiográficos que influenciam diretamente nessa grandeza a forma e declividade da área de estudo, as condições da superfície, o tipo de solo, a topografia, a rede de drenagem e as obras hidráulicas presentes na bacia. Pode haver também a influência dos fatores agroclimáticos, como as características do evento de precipitação (intensidade, duração e frequência), a cobertura e o uso do solo no local e a evapotranspiração (CARVALHO, 2009).

Em áreas urbanas, onde há intenso processo de impermeabilização da superfície, a maior parte da água proveniente das chuvas escoar superficialmente, pois se retira desse volume apenas a parcela perdida no processo de evapotranspiração. Portanto, para obras de drenagem se faz necessário o levantamento das grandezas associadas ao escoamento superficial para que o dimensionamento seja feito de forma adequada.

O principal parâmetro a ser considerado em obras de drenagem é a vazão máxima de escoamento superficial ou de projeto. Quando objetiva-se estimar vazões em pequenas bacias urbanas, onde a proporção de área impermeável é grande, costuma ser definida pelo método racional (CARVALHO, 2009).

O método racional considera que a vazão máxima provocada por um evento de precipitação ocorre quando toda a área da bacia analisada contribui simultaneamente com o escoamento na seção de deságue. Sendo assim, ele correlaciona grandezas como o coeficiente de escoamento superficial (característica da superfície de cobertura do solo), a intensidade média de precipitação e a área de contribuição da bacia de drenagem.

$$Q = 0.278 \times c \times i \times A \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

Q – Vazão de pico [m³/s]

c - Coeficiente de escoamento [adimensional]

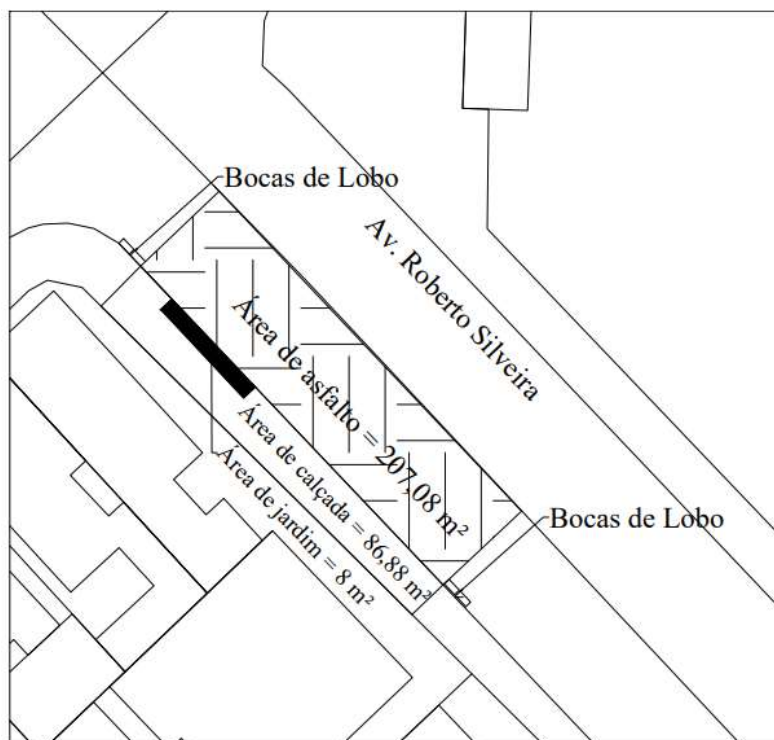
i – Intensidade média de chuvas [mm/h]

A – Área de contribuição da bacia de drenagem [km²]

A área de drenagem considerada refere-se à toda a área à jusante do último elemento de microdrenagem até o jardim de chuva. Para isso, foram identificadas as “bocas-de-lobo”² mais próximas à montante do jardim como início da delimitação da área de contribuição ao jardim de chuva.

No sentido perpendicular ao tráfego, a via apresenta inclinação para ambos os lados, dessa forma, apenas metade dela contribui para o jardim de chuva enquanto elemento de drenagem. Sendo assim, foi obtida a largura da calçada mais a metade da via longitudinal de circulação de veículos. De acordo com a planta cadastral da cidade, foram delimitadas as áreas de contribuição, com o auxílio do software AutoCad® (Figura15).

Figura 15 - Áreas de contribuição para o Jardim de Chuva



Fonte: Elaboração da autora, 2022.

Dessa forma, obteve-se as seguintes áreas de contribuição:

$$A_a = 207,08 \text{ m}^2 \rightarrow 207 \text{ m}^2 \rightarrow \text{área de asfalto}$$

$$A_c = 86,88 \text{ m}^2 \rightarrow 87 \text{ m}^2 \rightarrow \text{área de calçada}$$

$$A_j = 8 \text{ m}^2 \rightarrow \text{área do jardim de chuva}$$

² Dispositivo de drenagem para escoamento das águas nas ruas; bueiro.

O coeficiente de escoamento superficial correlaciona o volume que escoar sobre o terreno com o volume precipitado, sendo assim, varia de acordo com o material que compõe a sua cobertura. De acordo com ASCE (1969), são propostos os intervalos para os principais materiais constituintes das vias urbanas, descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de coeficiente de escoamento (c) segundo ASCE (1969)

Superfície	c
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Tijolo	0,70 – 0,85
Calçada	0,75 – 0,95
Telhado	0,05 – 0,10

Fonte: Adaptado de ASCE (1969).

Quanto mais a área de avaliação é impermeável, mais o coeficiente “c” se aproxima de 1 (um). Os valores apresentados são dados em forma de intervalo pois dependem das características locais, como fissuras e rachaduras nas superfícies, porosidade do material de composição e outras.

Para a região estudada no Município de Niterói, foram considerados os valores nos intervalos das superfícies “asfálticas” e de “calçadas”, de modo que o projeto do jardim de chuva seja realizado em áreas similares ao ponto de estudo, predominantemente urbanas. Foram obtidas as médias dos valores de escoamento superficial, a partir dos intervalos apresentados, como:

$$c_a = 0,825 \rightarrow \text{área de asfalto}$$

$$c_c = 0,85 \rightarrow \text{área de calçada}$$

Já para a consideração da área do jardim de chuva, foi considerado que todo o volume de água precipitado no local infiltrará, portanto, o coeficiente a ser considerado foi 1 (um).

$$c_j = 1 \rightarrow \text{área do jardim de chuva}$$

4.2. Infiltração e sortividade

Uma vez que a água precipitada entra em contato com o solo ela pode evaporar, penetrar no solo ou escoar superficialmente. Sendo assim, infiltração é o processo pelo qual essa água penetra nas camadas de solo e move-se para as camadas inferiores, através dos vazios existentes e sob a ação da gravidade (MIRANDA et al., 2010).

Essa etapa é uma das mais importantes do ciclo hidrológico pois é responsável pela recarga dos aquíferos, pelo controle do escoamento superficial e da erosão hídrica (TUCCI e BELTRAME, 2000), além de, nos centros urbanizados, estar diretamente ligada à eventos de alagamentos e enchentes.

A sortividade é um atributo hidrodinâmico que indica a capacidade de um solo absorver água em relação à sua umidade inicial (LOPES, 2017). Assim como a condutividade hidráulica, a sortividade é uma variável que descreve um aspecto de interação água-solo, portanto, depende de atributos dos dois elementos.

Segundo Reynolds et al. (1985), a relação entre a sortividade do solo pode ser expressa matematicamente pela equação (6), que correlaciona a variação de umidade do solo ($\Delta\theta$) e seu potencial matricial (φ_m):

$$S = \sqrt{2 \times \Delta\theta \times \varphi_m} \quad (\text{Equação 6})$$

O potencial matricial indica a presença de umidade no solo, o que significa quanto mais úmido, maior o potencial matricial. A definição de atributos hidrodinâmicos em localidades específicas demanda o levantamento de dados a partir de ensaios em campo ou em laboratório por conta da característica heterogênea dos solos. Para a verificação dos parâmetros relacionados à capacidade de infiltração da água no solo, como a sortividade e a condutividade hidráulica são utilizadas técnicas como o permeâmetro de Guelph, o infiltômetro de tensão e o infiltômetro de duplo anel (LOPES, 2017).

4.3. Permeâmetro de Guelph

O Permeâmetro de Guelph é um dos métodos de campo mais utilizados para medir as propriedades hidráulicas não-saturadas do solo (ZHANG et al., 1998). O método consiste na medição da condutividade hidráulica, a partir de uma carga hidráulica constante, acima do lençol freático. Foi desenvolvido e aprimorado por Reynolds e Elrick (1983) na Universidade de Guelph, Canadá (RIBEIRO et al., 2009).

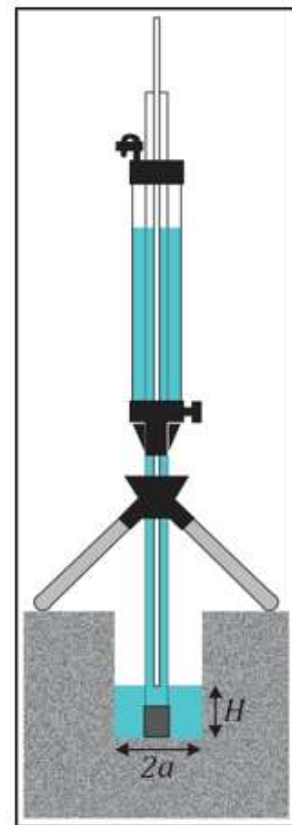
Aplicando determinada carga hidráulica, o permeâmetro é utilizado de forma a exibir a lâmina d'água dentro do corpo do aparelho. É definido um intervalo de tempo, e conforme definição do operador, são marcadas as alturas da lâmina d'água para que possa ser calculada a velocidade de infiltração da água no solo.

A utilização do aparelho perpassa pelas etapas de definição do ponto de análise, como: a escavação do poço no solo, a retirada de material para avaliação do solo em laboratório (em situações de avaliações mais detalhadas), a medição da umidade do solo antes da realização do ensaio, a montagem do equipamento, o preenchimento do mesmo com água, a aplicação da carga hidráulica e a realização das leituras (SOILMOISTURE, 2012).

A partir dos dados obtidos pelo ensaio de infiltração, é possibilitada a entrada em uma planilha eletrônica da Soilmoisture, companhia de fabricação do permeâmetro, disponível em < <https://www.soilmoisture.com/GUELPH-PERMEAMETER-KIT/#:~:text=The%202800%20Guelph%20Permeameter%20is,soil%20sorptivity%20in%20the%20field.>> (acesso em 18 de agosto de 2022), a partir da qual é possibilitado o cálculo dos parâmetros de condutividade hidráulica saturada (K_{fs}), textura do solo (α^*) e o potencial mátrico (φ_m).

O equipamento possui dois compartimentos principais para reservatório no comprimento de seu corpo, sendo dois cilindros: um dentro do outro, de diâmetros diferentes (Figura 16). A leitura pode ser feita a partir da abertura dos dois cilindros de forma combinada ou de apenas o cilindro interno, responsável pela carga hidráulica de infiltração da água no solo (mais indicado em casos de infiltração lenta).

Figura 16- Estrutura do permeâmetro de Guelph



Fonte: SOILMOISTURE, 2012.

O primeiro campo de preenchimento da planilha de cálculo está relacionado com essa abertura para a infiltração. Em casos de abertura combinada é imputado o número “35,22”, já em casos de abertura apenas do reservatório interno usa-se “2,16”. O segundo campo de preenchimento é a carga hidráulica fixa utilizada, em centímetros e o terceiro campo é o raio do buraco aberto no solo para a realização do experimento, em centímetros.

O quarto tópico de preenchimento está relacionado à categoria de classificação do solo analisado. A metodologia pede a entrada de números de 1 a 4, visando conseguir identificar a tipologia do solo. Essas categorias de diferenciação do tipo de solo utilizadas são: (1) argilas compactadas; (2) solos de textura fina; (3) argilas até areias finas com alta e moderada quantidade de macroporos e fissuras; (4) areias grossas incluindo solos com macroporos e fissuras (SOTO, 1999).

Por último, é necessária a entrada dos dados obtidos com a realização do ensaio. O parâmetro, é chamado de “steady-state rate of fall”, pode ser traduzido como “fluxo de queda d’água quando estabilizado”, indica a velocidade de infiltração da água no solo proveniente da diferença entre as

marcações das alturas da lâmina d'água divididas pelo intervalo de tempo no qual as leituras foram feitas. A entrada é feita na unidade de medida de centímetro por minuto [cm/min].

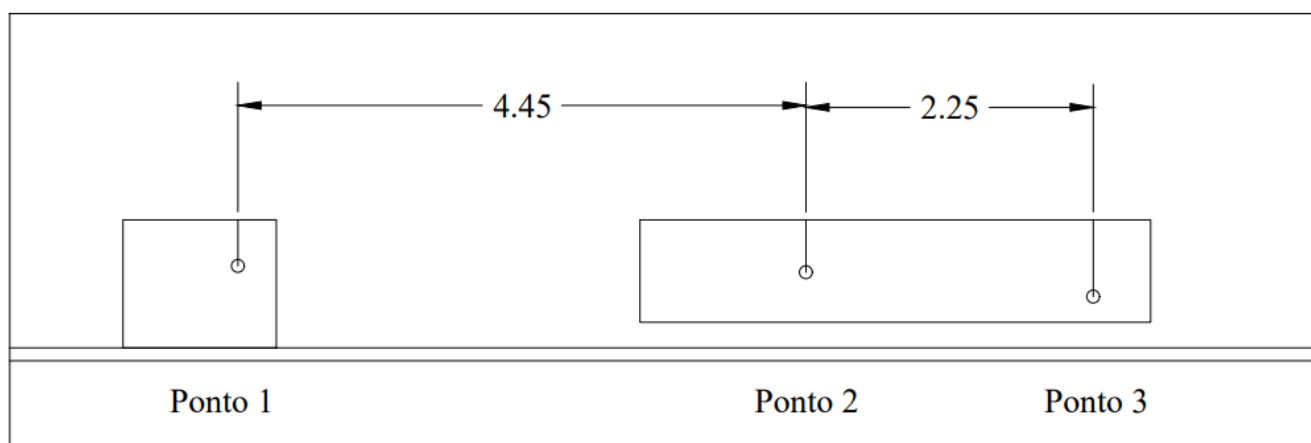
A partir desses dados de entrada é utilizado o método de carga hidráulica proposto por Elrick et al. (1989) para o cálculo dos demais parâmetros necessários para a caracterização do solo estudado.

4.4. Medidas em campo e aplicação da metodologia do permeâmetro de Guelph

Em parceria com a Embrapa Solos do Rio de Janeiro, no dia 18 de agosto de 2022, foram realizados ensaios em campo no local de implantação do projeto do jardim de chuva, na Rua Roberto Silveira, no Município de Niterói-RJ, para a obtenção dos parâmetros relacionados à infiltração da água no solo no local, e melhor entendimento dos processos da interação água-solo. Com foco nos cálculos de dimensionamento, o principal resultado esperado dos dados coletados foi a sortividade associada, por isso a coleta dos mesmos foi realizada em um dia sem chuva no qual pudesse encontrar um solo seco.

Após a identificação da área onde pretende-se elaborar o projeto do jardim de chuva, foram definidos 3 (três) pontos de análise, dentro do espaço disponível e permeável da área. O ponto 1 distando 2,25 metros do ponto 2, e o ponto 2 distando 4,45 metros do ponto 3 (Figura 17). Os ensaios foram realizados com furos de 20 centímetros de profundidade e 6 centímetros de diâmetro, conforme Figura 18 apresentada a seguir.

Figura 17 - Distanciamento dos pontos de análise



Fonte: Compilação da autora, 2022.

Figura 18 - Fase inicial de preparação do furo



Fonte: Compilação da autora, 2022.

Após a escavação dos furos no solo, a umidade foi medida antes e depois da realização dos ensaios, com a utilização de um medidor digital de umidade, e obteve-se uma variação ($\Delta\theta$) aproximada de 20%. As medições são apresentadas na Figura 19 a seguir:

Figura 19 - Medição de umidade do solo anterior e após o ensaio com o permeâmetro de Guelph



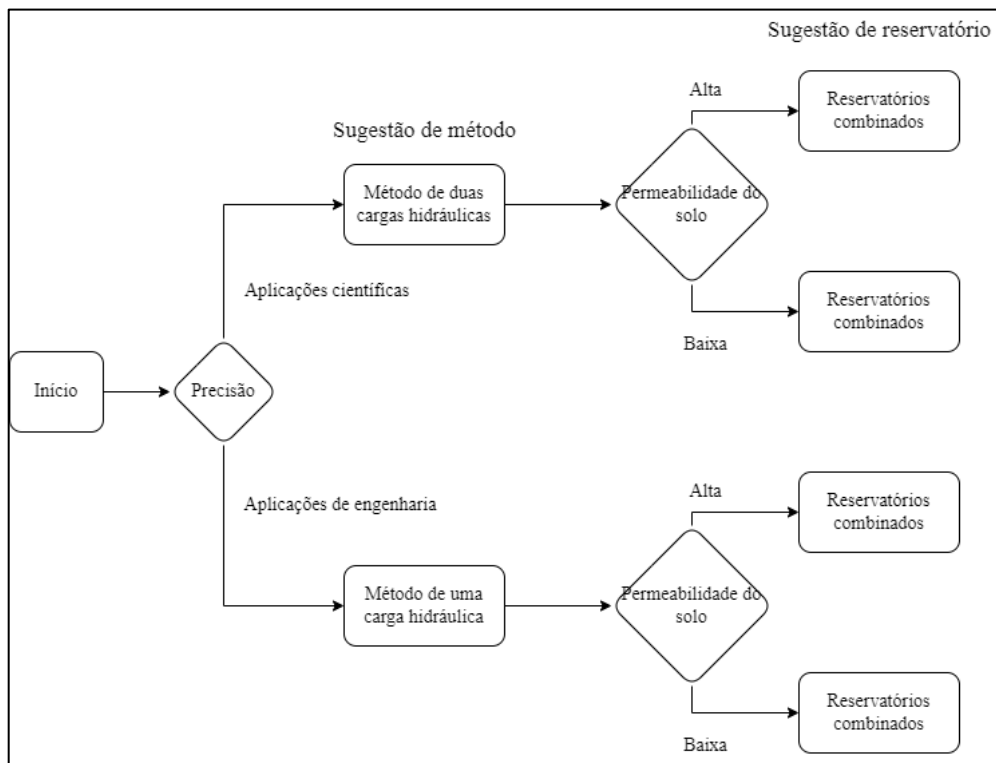
Fonte: Compilação da autora, 2022.

Após a medição da variação da umidade no solo, o permeâmetro de Guelph foi montado e os cilindros preenchidos com água. Foi definida uma carga hidráulica a ser aplicada de 5 centímetros, a partir da qual, foram realizadas 40 leituras da altura da lâmina d'água, com intervalo de discretização de 1 minuto.

De acordo com o fluxograma presente no manual de instrução de operações do permeâmetro de Guelph (Figura 20), foi utilizado o método “One Head” uma vez que a aplicação desejada é para fins

de engenharia e o tipo de reservatório como “combinado”, uma vez que se observou alta permeabilidade do solo analisado. (SOILMOISTURE, 2012).

Figura 20 - Fluxograma de metodologia a ser seguida para o permeâmetro de Guelph



Fonte: Adaptado de SOILMOISTURE, 2012.

Sendo assim, foram obtidos 40 valores de lâmina d’água, para os quais foram calculadas as alterações do nível de água, e, a partir da diferença entre as medidas sequenciais, foi calculado o fluxo da água, dividindo a alteração do nível d’água pelo intervalo de tempo de 60 segundos (Anexo II).

Figura 21 - Pontos 1, 2 e 3 respectivamente (da esquerda para a direita)



Fonte: Compilação da autora, 2022.

A partir das medições obtidas das leituras de infiltração da água no solo a cada minuto (disponíveis no Anexo II), foi calculado o fluxo médio de água para cada furo de coleta para que os

ensaios pudessem ser submetidos à planilha e cálculo de novos parâmetros. A média foi obtida a partir da medição a qual se inicia a observação da estabilização, sendo esse momento marcado aos 10 minutos para o ponto 1, 8 minutos para o ponto 2 e, novamente, 10 minutos para o ponto 3.

Tabela 8 - Fluxo médio de água para cada um dos 3 pontos de análise

Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Unidade
0,014516	0,012172	0,013495	cm/s
0,870968	0,730303	0,809677	cm/min

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Sendo assim, foram imputados os dados obtidos na planilha obtendo-se os seguintes parâmetros (Tabela 9) referentes à textura do solo (α^*), à condutividade hidráulica saturada (Kfs) e ao potencial mátrico (ϕ_m) - interface contendo dados de entrada e saída disponível no Anexo II.

Tabela 9 - Quadro resumo dos parâmetros obtidos para cada um dos 3 pontos de análise

Pontos	α^* [1/cm]	Kfs [cm/s]	ϕ_m [cm ² /min]
1	0,12	9,30E-04	7,75E-03
2	0,12	7,80E-04	6,50E-03
3	0,12	8,64E-04	7,20E-03
Média	0,12	8,58E-04	7,15E-03

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5. DIMENSIONAMENTO DO JARDIM DE CHUVA

5.1. Metodologia utilizada para cálculo

A metodologia utilizada para cálculo é fruto da adaptação da metodologia de dimensionamento de trincheiras apresentado por Graciosa et al. (2008) combinado com as equações para a caracterização da intensidade média das chuvas.

Foi utilizado o Método da Curva Envelope para a definição dos volumes de precipitação e de infiltração e o Método Racional para a estimativa das vazões afluentes ao jardim de chuva, de acordo com a área de drenagem.

5.1.1. Volume de armazenamento

O dimensionamento através do Método da Curva Envelope (equação 7) prevê o volume que deve ser suficiente para o armazenamento da água infiltrada, sendo o volume de armazenamento considerado como a diferença entre o volume precipitado e o volume infiltrado:

$$V_{arm} = V_{prec} - V_{inf} \quad (Equação 7)$$

Sendo:

V_{arm} – Volume armazenado [m³]

V_{prec} – Volume precipitado [m³]

V_{inf} – Volume infiltrado [m³]

O volume de armazenamento, de uma forma geral, é definido pelo volume multiplicado pela porosidade do material, como o volume de armazenamento resultado do somatório da camada de armazenamento da água de chuva do jardim, multiplicado pela porosidade do material constituinte (equação 8).

$$V_{arm} = \sum V_i \times \phi_i \quad (Equação 8)$$

Sendo:

V_i – Volume de cada uma das camadas de armazenamento de água do jardim de chuva [m³]

ϕ_i – Porosidade do material

5.1.2. Volume precipitado

O volume precipitado pode ser calculado pelo produto da vazão de pico e o tempo de duração da precipitação de projeto (equação 9).

$$V_{prec} = Q \times \Delta t \quad (Equação 9)$$

Sendo:

Q – Vazão de pico [m³/s]

t – Duração da precipitação [s]

A vazão de pico será definida pela equação (5), exposta no item 4.1.

5.1.3. Volume infiltrado

O volume infiltrado se refere à quantidade de água que infiltra através do jardim de chuva, obtido pelo produto da largura, comprimento e infiltração acumulada (equação 10).

$$V_{inf} = B \times L \times I_{ac} \quad (Equação 10)$$

Já a infiltração acumulada no jardim de chuva é obtida pelo produto da sortividade com a duração da precipitação (equação 11).

$$I_{ac} = S' \sqrt{\Delta t} \quad (Equação 11)$$

Sendo:

B – Largura do jardim de chuva [m]

L – Comprimento do jardim de chuva [m]

I_{ac} – Infiltração acumulada [m³/m²]

S' – Sortividade do solo [m³/s.m²]

t – Duração da precipitação [s]

A sortividade será definida pela equação (6), exposta no item 4.2.

O fator de segurança é associado à diminuição da capacidade de infiltração no solo devido ao acúmulo de finos na interface do solo. Sendo assim, considera-se um fator de segurança com o intuito de minorar o valor da sortividade, conforme a equação (12).

$$S' = S/FS \quad (Equação 12)$$

De acordo com o proposto por Ciria (1996), são apresentados os seguintes valores para a redução da taxa de infiltração levando em consideração a área de contribuição e o nível de impacto da estrutura (Tabela 10).

Tabela 10- Fatores de segurança de minoração da sortividade

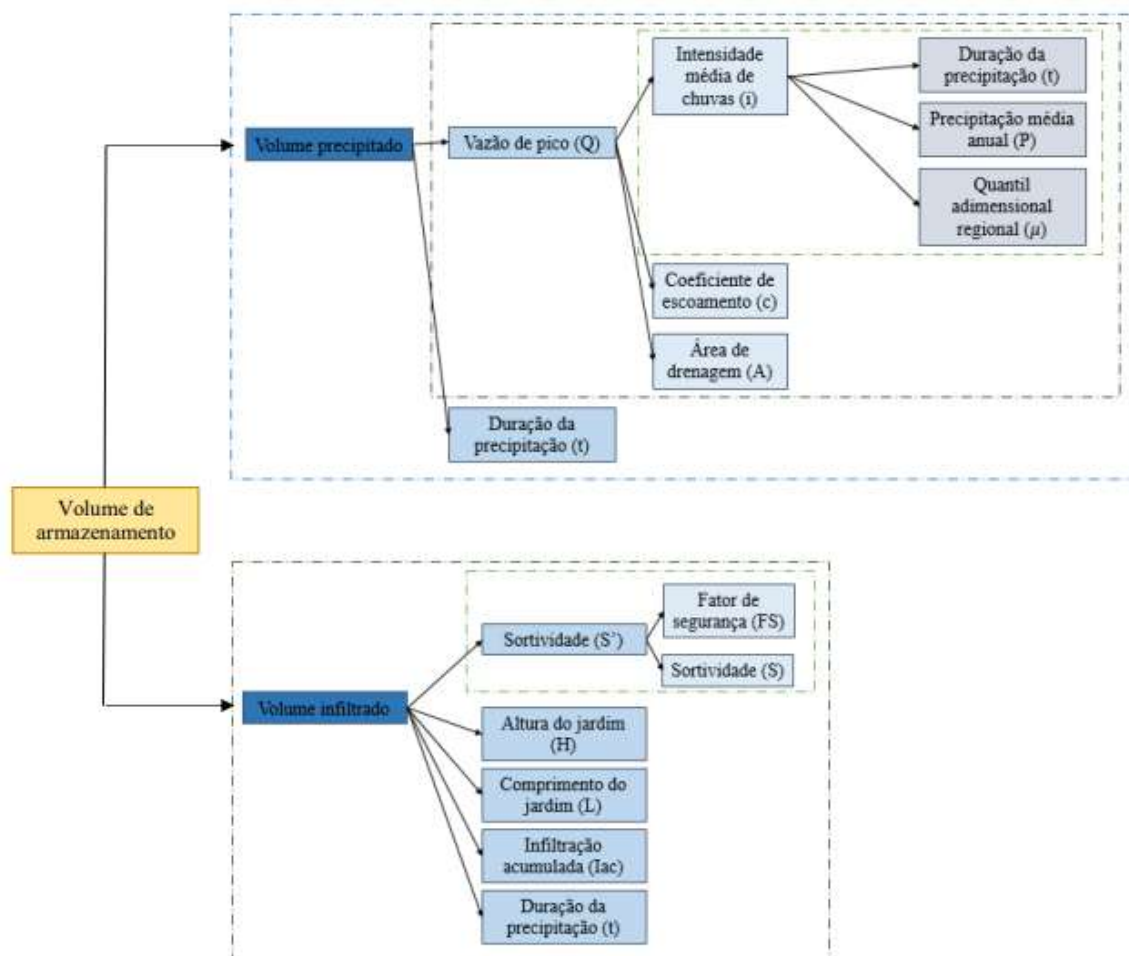
Área [m ²]	Sem prejuízo	Pouco prejuízo	Muito prejuízo
<100	1,5	2	10
100 a 1000	1,5	3	10
>1000	1,5	5	10

Fonte: Ciria, 1996.

5.2. Parâmetros necessários para o dimensionamento

Os parâmetros de dimensionamento do jardim de chuva estão apresentados no fluxograma elaborado e apresentado na Figura 22 para entendimento da hierarquia necessária para o levantamento dos dados e para a realização dos cálculos. Com os valores obtidos dos parâmetros relacionados às grandezas características da precipitação e do solo, pôde-se calcular a dimensão geométrica da profundidade necessária para a capacidade de armazenamento camada do jardim (camada 2 proposta no item 1.6), uma vez que as outras camadas possuem funções específicas e profundidades pré-definidas.

Figura 22 - Fluxograma dos parâmetros necessários para dimensionamento



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Sendo assim, a Tabela 11 apresenta os parâmetros levantados anteriormente para a caracterização do local e dimensionamento do jardim de chuva, associados às suas respectivas unidades de medida e ao item de referência de abordagem do tópico específico.

Tabela 11 - Parâmetros necessários para o dimensionamento do jardim de chuva na Avenida Roberto Silveira

	PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE DE MEDIDA	ITEM RELACIONADO
PRECIPITAÇÃO	P [Precipitação média anual]	1159	mm	3.3
	t [Tempo de duração]	5	minutos	3.1
	T [Período de retorno]	2, 5, 10 e 20	anos	3.2
SOLO	A [Área de drenagem asfáltica]	207	m ²	4.1
	A [Área de drenagem calçada]	87	m ²	4.1
	A [Área do jardim de chuva]	8	m ²	4.1
	c [coeficiente de escoamento do asfalto]	0,825	NA	4.1
	c [coeficiente de escoamento da calçada]	0,85	NA	4.1
	c [coeficiente de infiltração do jardim]	1	NA	4.1
	α^* [textura do solo]	0,12	l/cm	4.4
	Kfs [condutividade hidráulica]	8,53E-04	cm/s	4.4
	ϕ_m [potencial mátrico]	7,15E-03	cm ² /min	4.4

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

5.3. Aplicação da metodologia nos parâmetros locais: memória de cálculo

Serão aplicadas as equações expostas no item 5.1. os parâmetros apresentados no item 5.2. para o dimensionamento do jardim de chuva no ponto escolhido na Avenida Roberto Silveira.

5.3.1. Volume precipitado

Conforme discutido no item 3.1, o valor adotado para intensidade de chuvas será o maior entre o resultado da aplicação da metodologia da CPRM expressa pela equação (1) e dos parâmetros obtidos pelo programa *Pluvio 2.1* e aplicados na equação (4).

- CPRM:

Na aplicação da metodologia da CPRM foram definidas as intensidades de precipitação para os 4 tempos de retorno definidos no item 3.2, conforme a equação:

$$i = 36,301 \times t^{-0,392} \times P^{0,276} \times \mu$$

T = 2 anos

$$i = 36,301 \times (5 * 60)^{-0,392} \times (1159)^{0,276} \times 0,9478$$

$$i = 25,78 \text{ mm/h}$$

T = 5 anos

$$i = 36,301 \times (5 * 60)^{-0,392} \times (1159)^{0,276} \times 1,1173$$

$$i = 30,39 \text{ mm/h}$$

T = 10 anos

$$i = 36,301 \times (5 * 60)^{-0,392} \times (1159)^{0,276} \times 1,2668$$

$$i = 34,46 \text{ mm/h}$$

T = 20 anos

$$i = 36,301 \times (5 * 60)^{-0,392} \times (1159)^{0,276} \times 1,4579$$

$$i = 39,65 \text{ mm/h}$$

Conforme equação (5), foram definidas as vazões de pico para os 4 tempos de retorno definidos no item 3.2:

$$Q = 0.278 \times c \times i \times A \quad (\text{Equação 5})$$

T = 2 anos

$$Q = 0.278 \times (207 \times 10^{-6} * 0,825 + 87 \times 10^{-6} * 0,85 + 8 \times 10^{-6} * 1) \times 25,78$$

$$Q = 0,0018 \text{ m}^3/\text{s}$$

T = 5 anos

$$Q = 0.278 \times (207 \times 10^{-6} * 0,825 + 87 \times 10^{-6} * 0,85 + 8 \times 10^{-6} * 1) \times 30,39$$

$$Q = 0,0021 \text{ m}^3/\text{s}$$

T = 10 anos

$$Q = 0.278 \times (207 \times 10^{-6} * 0,825 + 87 \times 10^{-6} * 0,85 + 8 \times 10^{-6} * 1) \times 34,46$$

$$Q = 0,0024 \text{ m}^3/\text{s}$$

T = 20 anos

$$Q = 0.278 \times (207 \times 10^{-6} * 0,825 + 87 \times 10^{-6} * 0,85 + 8 \times 10^{-6} * 1) \times 39,65$$

$$Q = 0,0028 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Pluvio 2.1:

Na aplicação dos parâmetros obtidos pelo *Pluvio 2.1* foram definidas as intensidades de precipitação para os 4 tempos de retorno definidos no item 3.2, conforme a equação:

$$i = \frac{4378,807 \times T^{0,227}}{(t + 49,175)^{1,0}}$$

T = 2 anos

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c}$$

$$i = \frac{4378,807 \times 2^{0,227}}{(5 + 49,175)^{1,0}}$$

$$i = 94,60 \text{ mm/h}$$

T = 5 anos

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c}$$

$$i = \frac{4378,807 \times 5^{0,227}}{(5 + 49,175)^{1,0}}$$

$$i = 116,47 \text{ mm/h}$$

T = 10 anos

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c}$$

$$i = \frac{4378,807 \times 10^{0,227}}{(5 + 49,175)^{1,0}}$$

$$i = 136,32 \text{ mm/h}$$

T = 20 anos

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c}$$

$$i = \frac{4378,807 \times 20^{0,227}}{(5 + 49,175)^{1,0}}$$

$$i = 159,55 \text{ mm/h}$$

Conforme equação (5), foram definidas as vazões de pico para os 4 tempos de retorno definidos no item 3.2:

$$Q = 0.278 \times c \times i \times A \quad (\text{Equação 5})$$

T = 2 anos

$$Q = 0.278 \times (207 \times 10^{-6} \times 0,825 + 87 \times 10^{-6} \times 0,85 + 8 \times 10^{-6} \times 1) \times 94,60$$

$$Q = 0,0066 \text{ m}^3/\text{s}$$

T = 5 anos

$$Q = 0.278 \times (207 \times 10^{-6} \times 0,825 + 87 \times 10^{-6} \times 0,85 + 8 \times 10^{-6} \times 1) \times 116,47$$

$$Q = 0,0082 \text{ m}^3/\text{s}$$

T = 10 anos

$$Q = 0.278 \times (207 \times 10^{-6} \times 0,825 + 87 \times 10^{-6} \times 0,85 + 8 \times 10^{-6} \times 1) \times 136,32$$

$$Q = 0,0095 \text{ m}^3/\text{s}$$

T = 20 anos

$$Q = 0.278 \times (207 \times 10^{-6} \times 0,825 + 87 \times 10^{-6} \times 0,85 + 8 \times 10^{-6} \times 1) \times 159,55$$

$$Q = 0,0112 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sendo o tempo de duração definido como 5 minutos no item 3.1. foi aplicada a equação (9) para cada uma das vazões calculadas anteriormente multiplicando-as pelo tempo de duração definido, sendo assim, como resumo dos resultados tem-se:

Tabela 12 - Volume precipitado para cada tempo de período de retorno

Metodologia	CPRM			IDF Pluvio 2.1		
TR	i [mm/h]	Q [m³/s]	V precip [m³]	i [mm/h]	Q [m³/s]	V precip [m³]
2 anos	25,78	0,0018	0,54	94,60	0,0066	1,99
5 anos	30,39	0,0021	0,64	116,47	0,0082	2,45

10 anos	34,46	0,0024	0,72	136,32	0,0095	2,86
20 anos	39,65	0,0028	0,83	159,55	0,0112	3,35

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os valores de volume de precipitação adotados serão os maiores dentre as metodologias aplicadas, ou seja, será adotada a metodologia utilizando os dados do software *Pluvio 2.1*.

5.3.2. Volume infiltrado

A sortividade será definida pela equação (6), exposta no item 4.2.

$$S = \sqrt{2 \times \Delta\theta \times \varphi_m} \quad (\text{Equação 6})$$

$$S = \sqrt{2 \times 20 \times (7,15 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{10^{-4}}{60}\right)}$$

$$S = 6,9 \times 10^{-4}$$

Aplicando o fator de segurança na equação (12):

$$S' = S/FS \quad (\text{Equação 12})$$

$$S' = 6,9 \times 10^{-4}/3$$

$$S' = 2,3 \times 10^{-4}$$

Sendo assim, para a Infiltração acumulada será aplicada a equação (11):

$$I_{ac} = S'\sqrt{\Delta t} \quad (\text{Equação 11})$$

$$I_{ac} = 2,3 \times 10^{-4} \times \sqrt{300}$$

$$I_{ac} = 3,98 \times 10^{-3}$$

Finalmente, o volume infiltrado, conforme equação (10), será:

$$V_{inf} = B \times L \times I_{ac} \quad (\text{Equação 10})$$

$$V_{inf} = 8 \times 1 \times (3,98 \times 10^{-3})$$

$$V_{inf} = 0,032 \text{ m}^3$$

5.3.3. Volume armazenado

Para o cálculo do volume necessário a ser armazenado, será aplicada na equação (7) os valores encontrados nos itens 5.3.1 e 5.3.2.

Tabela 13 - Volume de armazenamento necessário para cada tempo de período de retorno

TR	V prec [m³]	V inf [m³]	V arm [m³]
2 anos	1,987	0,032	1,955
5 anos	2,447	0,032	2,415
10 anos	2,864	0,032	2,832
20 anos	3,352	0,032	3,320

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Considerando que todo o volume necessário para armazenamento deverá estar contido na camada de brita (camada 2, do item 1.6), a altura dessa camada deverá ser tal para comportar essa quantidade de água precipitada. A porosidade para uma brita comercial varia na ordem de 40 a 50% (ARAÚJO, 2000). Sendo assim, será adotado o valor de 40% para fins de cálculo da profundidade necessária para essa camada.

Sendo assim, de acordo com a equação (8):

$$V_{arm,final} = \sum V_i \times \phi_i \quad (Equação 8)$$

$$V_{arm,final} = V_{arm} \div 0,40$$

Sendo assim, aplicando aos 4 tempos de retorno definidos no item 3.2:

TR	V arm,final [m³]
2 anos	4,888
5 anos	6,037
10 anos	7,079
20 anos	8,299

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Portando, a altura mínima necessária para essa camada será de:

$$h_{mín} = \frac{V_{arm,final}}{8 \times 1}$$

TR	h brita [m]
2 anos	0,611
5 anos	0,755
10 anos	0,885
20 anos	1,037

6. RESULTADO FINAL

6.1. Jardim Avenida Roberto Silveira

O jardim de chuva a ser implementado na Avenida Roberto Silveira tem como objetivo atenuar a realidade de alagamentos frequentes na região. Porém, é notório que apenas um elemento de drenagem alternativo não possui capacidade hídrica de solucionar todo o problema da região, por isso, além desse ponto de implementação, é importante que a proposta aqui apresentada seja replicada para que obtenham-se efeitos mais consolidados.

As camadas do jardim serão as apresentadas no item 1.6, e, de acordo com suas funções específicas, cada uma terá uma espessura. A espessura da camada de brita, que tem como objetivo armazenar a água excedente da infiltração, foi definida conforme cálculos do item 5.3.3.

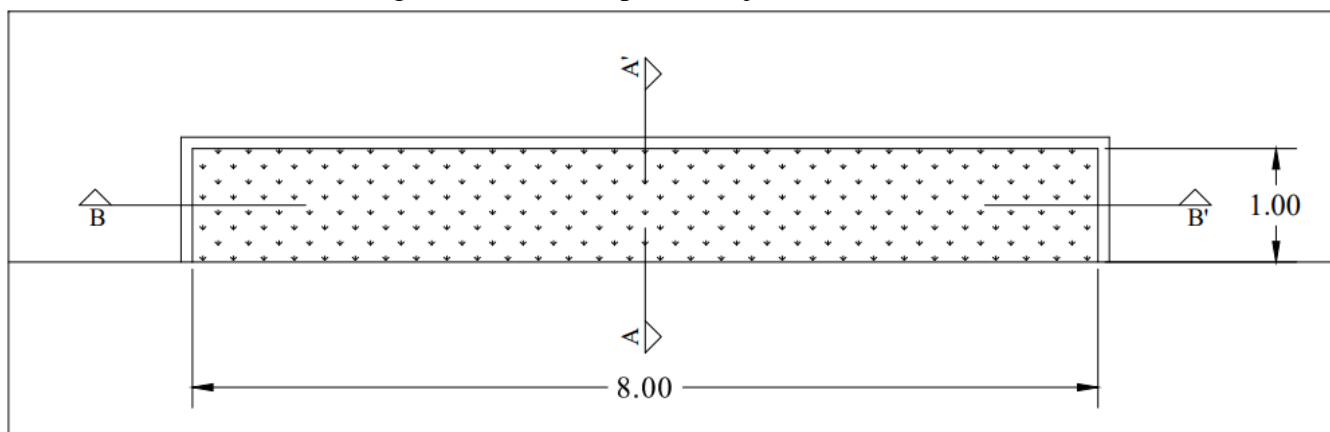
Tabela 14 - Espessura de cada uma das camadas do jardim de chuva

Camadas	Profundidade
Vegetação	Superficial (acima do nível do jardim)
Substrato	10 ³ cm
Areia	15 ⁴ cm
Manta Geotêxtil	Tende a 0 (zero)
Brita	105 ⁵ cm
Camada final	Tende ao infinito (terreno natural)

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Portanto, as profundidades das camadas dimensionadas para o jardim de chuva da Avenida Roberto Silveira correspondem às expostas pela Tabela 14 e conforme ilustrado pelas Figuras 23, 24 e 25.

Figura 23 - Vista superior do jardim de chuva



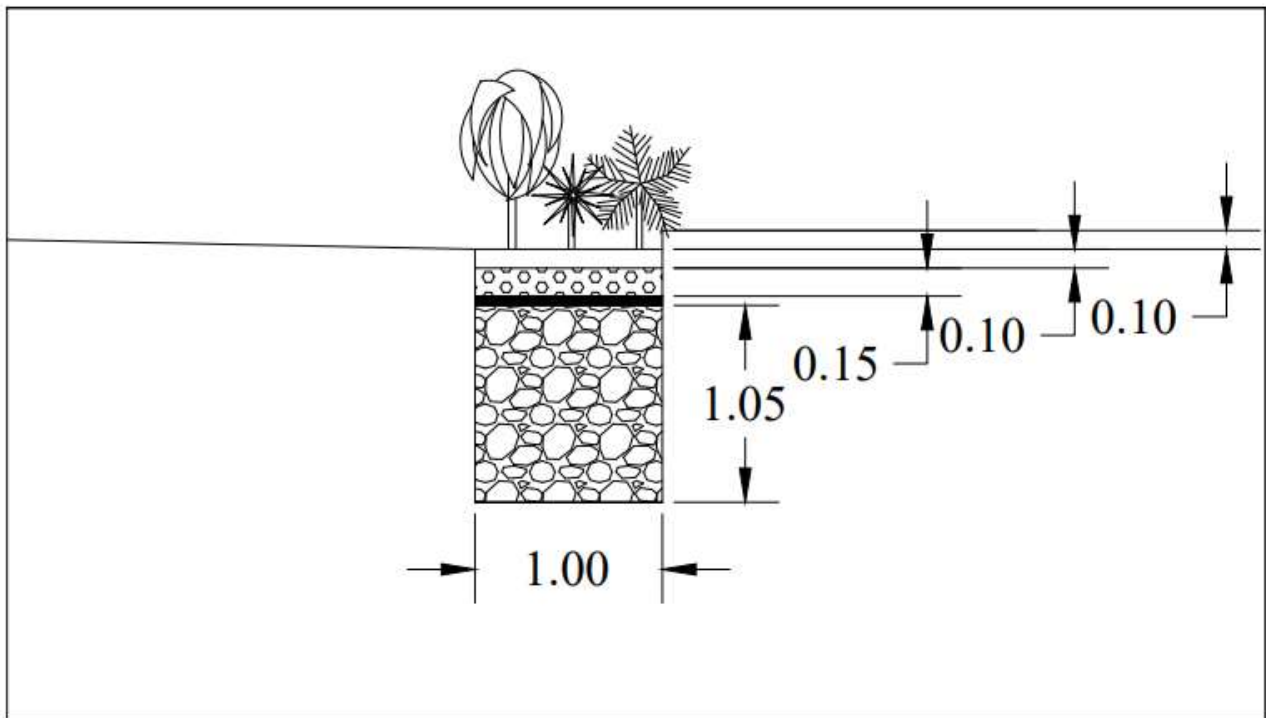
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

³ Espessura de camada de substrato proposta por Melo et. al (2014).

⁴ Espessura de camada filtrante proposta por Trowsdale e Simcock (2011).

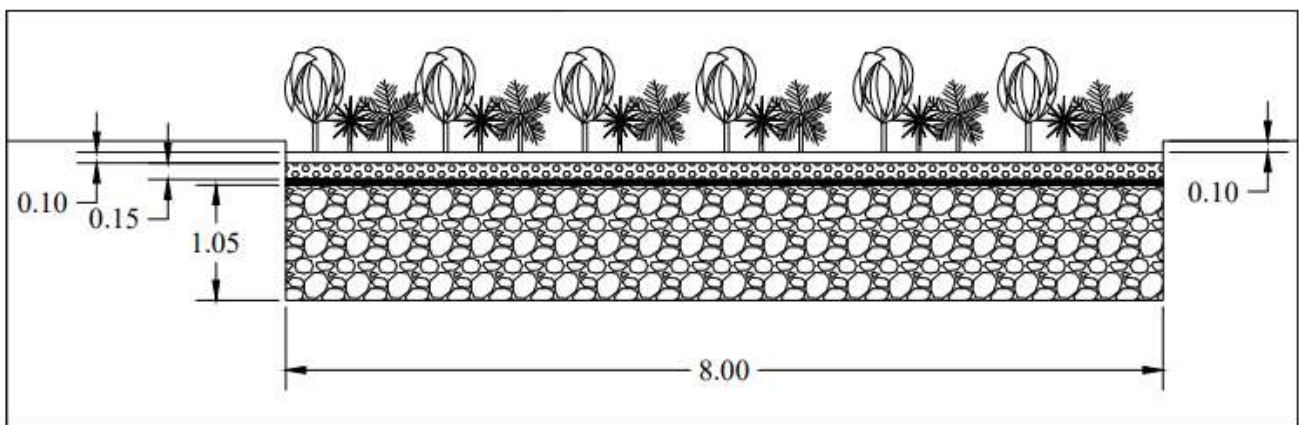
⁵ Valor adotado para satisfazer o mínimo dimensionado no item 5.3.3 para jardins de chuva com período de retorno de 20 anos.

Figura 24 - Corte A-A' do jardim de chuva



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 25 - Corte B-B' do jardim de chuva



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Dessa forma o jardim de chuva projetado na Avenida Roberto Silveira possui capacidade de armazenamento de 8,4 metros cúbicos de água, ou 8400 litros. A prancha do projeto está disponível no Anexo III.

6.2. Modelo de jardim para replicação em Niterói

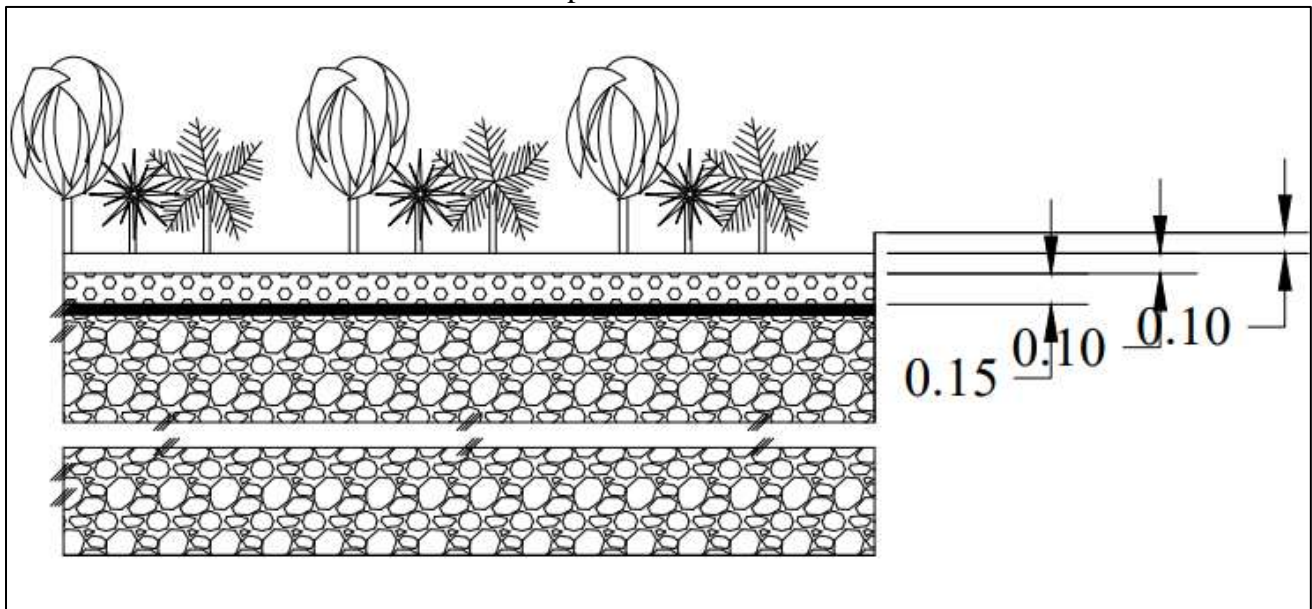
É proposta do presente trabalho um modelo replicável, que visa facilitar a implantação de possíveis demais unidades a serem construídas pela cidade de Niterói, com o objetivo de criar um ambiente urbano mais adaptado aos eventos extremos hidrológicos associados às mudanças climáticas.

A proposição seria de um módulo que refletisse todos os parâmetros levantados até então (uma vez que foram definidos especificamente para a cidade de Niterói), mas que pudesse ter dimensões variáveis podendo ser implementado de acordo com a área disponível nos pontos de interesse.

Para a dimensão da largura fixa-se 1 (um) metro de forma à deixar espaço suficiente para o trânsito de pedestres nas calçadas. Para o comprimento, dependeria da disponibilidade de área para a implantação do jardim. Lembrando sempre que, quanto maior a área, maior a capacidade de água infiltrada o jardim de chuva possui.

Para as profundidades, manteriam-se fixas as camadas de substrato e areia, enquanto varia-se a camada composta por brita (Figura 26). A camada de brita é a responsável pela capacidade volumétrica de armazenamento de água do jardim de chuva, portanto, sua profundidade será oscilante a depender da área de contribuição (demanda de volume d'água) do local.

Figura 26 - Representação do módulo replicável do jardim de chuva com altura da camada de brita e comprimento variáveis



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Dessa forma, para replicações no Município de Niterói, todos os parâmetros levantados no presente trabalho poderiam ser reutilizados, variando apenas a área de contribuição (definida no item 4.1), consequentemente gerando dimensões específicas para cada demanda de jardim de chuva.

Enquanto para implementações em outras cidades, os parâmetros que caracterizam o local devem ser levantados, bem como foi feito para Niterói.

CONCLUSÃO

Criar um ambiente urbano mais adaptado para toda a sua população residente deve ser uma busca de todo engenheiro, pois como moldadores da paisagem das cidades, é imprescindível que se tenha em mente as necessidades do presente e do futuro da sociedade. Bem como os desafios a serem enfrentados, o ambiente do entorno e os impactos causados por todas as variáveis condicionantes.

Com o avanço das mudanças climáticas se torna cada vez mais urgente repensar a adaptação dos centros urbanos como um processo integrado que deve considerar de forma holística as necessidades das populações, os eventos extremos e uma aproximação cada vez maior com os ciclos naturais. De forma a reconsiderar os modelos organizacionais do homem contemporâneo e seus hábitos, proliferando medidas alternativas de intervenção em busca de maior bem-estar e segurança.

Dentre as consequências provenientes, a alteração no ciclo hidrológico tem grande potencial de expor as cidades à situações de calamidade, portanto, a partir do desenvolvimento do presente trabalho de conclusão de curso, foi possível concluir que a implantação de jardins de chuva nos centros urbanos pode impactar positivamente em situações de eventos extremos com o armazenamento temporário de águas pluviais, mitigando assim, a ocorrência de enchentes e alagamentos.

Foi possível aplicar metodologias existentes e propor um modelo de dimensionamento para um jardim de chuva na Avenida Roberto Silveira, localizada na cidade de Niterói. A partir deste estudo de caso, também, foi proposta a replicação de jardins de chuva em outros pontos da cidade, alterando apenas a dimensão relacionada à capacidade de armazenamento de água de chuva (profundidade da camada de brita).

Apesar dos parâmetros levantados caracterizarem a cidade de Niterói, a metodologia aqui apresentada pode ser aplicada em qualquer localidade desejada, pois, tendo em vista as características de imprevisibilidade dos cenários a serem encarados futuramente, é importante que sejam desenvolvidas ferramentas que facilitem a implementação e proliferação dessas medidas, objetivando a construção de centros urbanos cada vez mais adaptados, como o que vem sendo projetado para a cidade de Niterói.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R. e& RIBEIRO, R. R. Inundação e Enchentes. In: Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. Orgs: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo. 2012.

AMBRIZZI, T. et al. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

ARAÚJO, Paulo Roberto de; TUCCI, Carlos E. M.;GOLDENFUM, Joel A.; Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial ;Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS - Porto Alegre – RS; RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 5 n.3 Jul/Set 2000, 21-29.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

BAEK, S. S.; CHOI, D. H.; JUNG, J. W.; LEE, H. J.; LEE, H.; YOON, K. S.; CHO, K. H. Optimizing Low Impact Development (LID) for stormwater runoff treatment in urban área, Korea: Experimental and modeling approach. Water Research, v. 86, p. 122-131, 2015.

BALDERAS TORRES, A., LAZARO VARGAS, P., PAAVOLA, J. The systemic and governmental agendas in presidential attention to climate change in Mexico 1994–2018. Nat. Commun. 11, 455. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14048-7>.

BOTELHO, R.G.M & SILVA, A.S. (2010) Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: GUERRA, A.J.T. e VITTE, A.C. (orgs). Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3.ed.

BRASIL, Felipe; RJ: Comissão do Senado apresenta relatório final sobre tragédia em Petrópolis; CNN; 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rj-comissao-do-senado-apresenta-relatorio-final-sobre-tragedia-em-petropolis/>> ; Acesso em: 20/08/2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 4. ed. – Brasília : Funasa, 2015.

CARVALHO, Daniel Fonseca; SILVA, Leonardo Duarte Batista da; Hidrologia; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ; cap. 4; agosto 2006.

CASTRO; Antônio Luiz Coimbra de; MANUAL DE PLANEJAMENTO EM DEFESA CIVIL; Volume I; Ministério da Integração Nacional; Secretaria de Defesa Civil. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec>; Acesso em: 16/08/2022.

CHANG, N. B.; LU, J. W.; CHUI, T. F. M.; HARTSHORN, N. Global policy analysis of low impact development for stormwater management in urban regions. *Land Use Policy*, 70, p. 368-383, 2018.

CHRISTENSEN, D.; SCHMIDT, A. R. An Approach to Analyze the Hydrologic Effects of Rain Gardens. In: INTERNATIONAL LOW IMPACT DEVELOPMENT CONFERENCE, Seattle, 2008. Proceedings...Seattle, 2008.

CHRSTOFOLETTI, A (1980); Geomorfologia: São Paulo. 2ª edição pg 103-127.

DAVIS, Elisabeth Guelman, NAGHETINI, Mauro Cunha. Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro. 2ª ed. revista e ampliada. / Elisabeth Guelman Davis e Mauro Cunha Naghettini. – Brasília: CPRM, 2000.

DEGANI, Clarice. M.; CARDOSO, Francisco F. A Sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. In : NUTAU 2002 – Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 7 a 11 de outubro de 2002.

DUNNETT, Nigel, CLAYDEN, Andy. Rain gardens: sustainable rainwater management for the garden and designed landscape / Nigel Dunnett & Andy Clayden. Portland: Workman, 2007.

FERREIRA, Artur Piva; Avaliação e proposta de sistema de drenagem pluvial da superquadra 411/12: Um estudo de caso; Distrito Federal; vii, 27 p., 297 mm; ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2015.

FIORIO, Peterson R.; DUARTE, Sergio N.; RODRIGUES, Guilherme de O.; MIRANDA, Jarbas H. de; COOKE, Richard A.; Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo; Eng. Agríc., Jaboticabal, v.32, n.6, p.1080-1088, nov./dez. 2012.

FLYNN, K. M.; TRAVER, R. G. Green Infrastructure Life Cycle Assessment: a bioinfiltration case study. *Ecological Engineering*, v. 55, p. 9-22, 2013.

FRITZEN, Maycon; BINDA, Andrey Luis; Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente/ Ateliê Geográfico; Goiânia – GO; v.5, n.3; dezembro 2011.

GRACIOSA, Melissa Cristina Pereira, MEDIONDO, Eduardo Mario, CHAUDHRY, Fazal Hussain; Metodologia para o Dimensionamento de Trincheiras de Infiltração para o Controle do Escoamento Superficial na Origem; RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 13 n.2 Abr/Jun 2008, 207-214

GROISSMAN, P. et al. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, n.18, p.1326-50, 2005.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in total and extreme South America rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, n.19, p.1490-1512, 2006. Liebmann, B. et al. An Observed Trend in Central South American Precipitation. Accepted. *Journal of Climate*, 2004.

HOSKING, J.R.M. & WALLIS, J.R. Regional Frequency Analysis – An Approach Based on LMoments. 224 p. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1997.

IPCC AR6 (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇİ, R. YU AND B. ZHOU (Eds). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021, 41 pp.

IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

LI, J. Q.; ZHAO, W. W. Design and Hydrologic Estimation Method of Multi-Purpose Rain Garden: Beijing case study. In: INTERNATIONAL LOW IMPACT DEVELOPMENT CONFERENCE, Seattle, 2008.Proceedings...Seattle, 2008.

MEDEIROS, Vanesca Sartorelli; Análise de eventos críticos de precipitação relacionados a desastres naturais em diferentes regiões do Brasil / V.S. Medeiros – São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-04102013-113054/publico/Dissertacao_Vanesca_Sartorelli_Medeiros.pdf>. Acesso em: 15/08/2022.

MEEHL, G. A. et al. Global Climate Projections. In: SOLOMON, S. D. et al. (Ed.) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, New York: Cambridge University Press, 2007.

MELO, T. dos A. T. DE; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. da S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, out./dez. 2014.

MELO, T. dos A. T. DE; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. da S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, out./dez. 2014.

MILLY, P. C. D. et al. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, v.438, 347-50, 2005.

MINISTÉRIO DA DEFESA CIVIL – MIN; Manual de Desastres: Desastres Naturais; Brasília, 2003. Disponível em:

<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/DesastresNaturais_Voll.pdf>. Acesso em: 15/08/2022.

MIRANDA, Débora Thomé, DECESARO, Gabriel Dal'Maso; OS IMPACTOS E AS CONSEQUÊNCIAS GERADOS PELA URBANIZAÇÃO ACELERADA ÀS ÁGUAS URBANAS; Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 - 13ª edição – Setembro de 2018.

MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiros de; OLIVEIRA, Marcus Vinicius Siqueira de; SILVA, Danielle Ferreira da; CICLO HIDROLÓGICO PLANETÁRIO: abordagens e conceitos; ISSN 1981-9021 - Geo UERJ - Ano 12, v.1, no .21, 1º semestre de 2010.

MOURA, Newton Célio Becker de; Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva / Newton Célio Becker de Moura. São Paulo, 2013.

MUNICÍPIO DE TOLEDO; Secretaria do Planejamento Estratégico – Estado do Paraná; Manual de drenagem urbana – Volume I; v.1; agosto 2017.

NETO, D.S.1 ; SEABRA, V.S.2 ; CORREIA, M.R.3 ; SANTOS, A.A.B.4 ; Identificação de áreas susceptíveis a eventos de alagamento no município de Niterói – RJ; REVISTA GEONORTE, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.473-477, 2014. (ISSN 2237-1419).

NOVOTNY, Vladimir; AHEERN, Jack & BROWN, Paul. Water Centric Sustainable Communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment. New Jarsey: John Wiley Inc. 2010.

OLIVEIRA, M.A.T; HERRMANN, M.L.P (2006). Ocupação do Solo e Riscos Ambientais na Área Conurbada de Florianópolis. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil –4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 147-188.

OLIVEIRA, Tatiana Halmenschlager; Sistema de drenagem urbana sustentável como estratégia para resiliência aos impactos das mudanças climáticas/ Tatiana Halmenschlager Oliveira; orientador Eduardo Mário Mendiondo. São Carlos, 2021.

PAULO, Vinicius. Silva de.; SANT' ANA, I.sadora M.achado. Estudo conceitual dos jardins de chuva como sistema de biorretenção na cidade de Niterói. 2021. 102f. Projeto final (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil e Transportes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

PBMC, 2016: Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PERSSON, Å., DZEBO, A. Special issue: exploring global and transnational governance of climate change adaptation. *Int. Environ. Agreements Polit. Law Econ.* 19, 357–367. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10784-019-09440-z>.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (2018); PLANOS DE CONTIGÊNCIA DA VIGILÂNCIA EM SAÚDE: Desastres naturais do Município do Rio de Janeiro; PCRJ, 2018. Disponível em: <
<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/9687027/4238557/PLANODECONTINGENCIADEDESASTRESNATURAISNAATENCAOPRIMARIAEMSAUDERio20182019.pdf>>. Acesso em: 15/08/2022.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO; Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de dispositivos de drenagem; 2ª. Versão – JULHO/2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NITERÓI (2015); PMSB - Plano municipal de saneamento básico: Diagnóstico, descrição e análise crítica do sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas; julho de 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NITERÓI (2020); PMSB - Plano municipal de saneamento básico: Relatório final consolidado; março de 2020.

PRUSKI, F.F.; CALIJURI, M.L.; BHERING, E.M.; SILVA, J.M.A. Metodologia baseada no uso de sistemas de informações geográficas para obtenção de equações de chuvas intensas em qualquer localidade do Estado do Paraná. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, v.5, n.3, p.254-265, 1997.

QIN, Y.inghong; *Urban Flooding Mitigation Techniques: A Systematic Review and Future Studies*; MDPI Journal; Water; 2020.

REI, Fernando Cardozo Fernandes, GONÇALVEZ, Alcindos Fernandes, SOUZA, Luciano Pedreira de; ACORDO DE PARIS: REFLEXÕES E DESAFIOS PARA O REGIME INTERNACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS; *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v.14, n.29 p.81-99, Mai. /Ago. de 2017.

RODRIGUES, Meghie; *O Antropoceno em disputa*; *Cienc. Cult.* vol.69 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2017.

ROQUE, Tatiana; *O dia em que voltamos de Marte: Uma história da ciência e do poder com pistas para um novo presente*/ Tatiana Roque. – São Paulo: Planeta, 2021.

RUFINO, E. P., HACK, J., PEREIRA, M., SCHUCKRECH, A., RECH, J. C.; *Jornada Estadual de Estudos Científicos em Engenharias (1. : 2016 : Curitiba, SC) Anais da I Jornada Estadual de Estudos Científicos em Engenharias (JEECE) : METODOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA RETENÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM SISTEMAS DE MICRODRENAGEM / organização Solange Sprandel da Silva ... et al. – Curitiba, SC : UnC, 2016.*

SEABRA, V. S., CAMPOS, A. O., MODESTO, N. S. A., NETO, D. S., CORREIA, M. R., COSTA, E. C. P., SANTOS, A. A. B. Análise da distribuição da população por diferentes unidades de representação: um estudo de caso para o município de Niterói - RJ. (n.d.)

SEVILLANO, Elena G.; Temporais causam inundações na Alemanha, que deixam dezenas de mortos e desaparecidos; El País; 2021; Disponível em: < <https://brasil.elpais.com/internacional/2021-07-15/inundacoes-na-alemanha-deixam-dezenas-de-mortos-e-desaparecidos.html>>; Acesso em: 20/08/2022.

SHERBININ, Alex de. et. al, Climate vulnerability mapping: A systematic review and future prospects. CIESIN, Earth Institute, Columbia University. WIREs Clim Change. 2019;e600; 2019.

SMIT, B., PILIFOSOVA, O., BURTON, I., CHALLENGER, B., HUQ, S., KLEIN, R.J.T., YOHE, G., ADGER, N., DOWNING, T., HARVEY, E., KANE, S., PARRY, M., SKINNER, M., and SMITH, J. Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. pp. 877-912. 2001.

SOTO, M.A.A. Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos Não Saturados. 1999. 118p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade São Carlos, São Carlos, Brasil.

TROWSDALE, S. A.; SIMCOCK, R. Urban Stormwater Treatment Using Bioretention. Journal of Hydrology, v. 397, n. 3-4, p. 167-174, 2011.

TUCCI, C. E. M. Urbanização e recursos hídricos. In: BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. Águas do Brasil: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

TUCCI, C.E.M. (2003). Águas Urbanas. In: TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. Inundações Urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1.ed.

TUCCI, C.E.M. (2005) Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Ministério das Cidades. Global Water Partnership. World Bank. Unesco. Disponível em: < https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais__.PDF?1370615799>; Acesso em: 14/07/2022.

TUNDISI, José Galizia; Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. Cienc. Cult. vol.55 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2003

VALERIANO, M. M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004.

XXV Prêmio Jovem Cientista; Impactos das Mudanças Climáticas nas Cidades; Capítulo 7 – Caderno do Professor; 2011.

ANEXO I – Respostas CLIN

- Qual a periodicidade de limpeza das vias (varrição)?

Temos dois tipos de varrição, a manual e a mecanizada (Figura 1). A manual é realizada pelos garis lotados nos Distritos de Limpeza Urbana (DLU) que ao total são 14 na cidade (Figura 2) e ela acontece de 2ª a 2ª. Especificamente para o bairro de Icaraí, são dois DLU's responsáveis pela varrição, o 4º DLU (Rua Irineu Marinho, 466) e o 6º DLU (Rua Américo Oberlander, 581).

A mecanizada é feita com o caminhão varredeira autopropelida e possui uma frequência de dias alternados. Esse caminhão é utilizado nas vias públicas principais.



Figura 1 . Varrição manual e varrição mecanizada



Figura 2. Distritos de Limpeza Urbana (DLU)

- Qual a periodicidade de coleta de resíduos sólidos?

Depende do bairro. Temos coleta para bairros com maior volume gerado de 2ª a sábado. Também temos 2ª, 4ª e 6ª e 3ª, 5ª e sábado. Na figura 3 é possível verificar quais são os bairros e os seus dias. Especificamente para o bairro e Icaraí a coleta é diária (2ª a sábado) e noturna. Lembrando que domingo não há coleta domiciliar na cidade.



Figura 3. Dias e horários da coleta domiciliar

- É feita alguma limpeza específica em ocorrências de chuvas em enchentes?

Sim. Temos a Superintendência de Operações que é a parte responsável por toda parte operacional da companhia. Temos duas diretorias: DOP1 e DOP2. A primeira fica responsável por todos os bairros da região oceânica e a segunda, pelos demais. Ainda temos a Turma Especial, que é acionada quando há eventos que não são usuais (como enchentes). Em casos

como esse, é realizada uma programação especial para poder atender as áreas mais críticas da cidade. A equipe realiza a raspagem das vias (em casos de lama), a lavagem através do caminhão pipa (com água de reúso) e a varrição extraordinária (independente da varrição programada por cada DLU).

- Existe alguma limpeza relacionada à desobstrução dos canais de drenagem da cidade?

Sim. Existe uma equipe chamada Zeladoria, que é a junção de forças da CLIN e da Seconser. Em atendimento ao cronograma diário estabelecido pela CLIN, e em apoio aos Distritos de Limpeza Urbana de Niterói, é realizada a varrição, capina manual e limpeza dos bueiros da cidade. Este projeto consiste em ações de melhorias e manutenções em todas as áreas urbanas do município envolvendo principalmente canais e valas de drenagem e desobstruções em sistemas de microdrenagem, contudo também envolvem reparos e manutenções e limpezas nas áreas públicas como roçagem, pintura e limpeza e meio-fio, entre outras ações.

- Volumes de resíduos coletados

Não consigo enviar o volume de resíduos coletados por bairro (apenas o da coleta seletiva), somente o volume geral por cada modalidade, que para o ano de 2021 é:

Modalidade de coleta	Volume (t)
Diferenciada (domiciliar de comunidades)	21.474,5
Varrição manual	30.482,38
Varrição mecanizada	3.419,79
Domiciliar	127.069,04
Praia	2.695,57
Demais resíduos	40.014,67
Hospitalar (apenas os próprios municipais)	264,28
Recicláveis	3.373,03
Total	228.793,26

Coleta Seletiva (todo o município)	Volume (t)
Porta a porta	2.702,37
Pontos de Entrega Voluntária (PEV's)	273,91
São Francisco / Charitas	177,86
Molok's (comunidades)	197,65

Noturna	23,36
Total	3.375,15

Coleta Seletiva (PEV's)	Volume (t)
Cafubá	11,11
Econdomínios	122,21
Barreto	9,42
Fonseca	16,23
Icaraí	34,82
Ilha da Conceição	8,37
Itaipú	12,01
Itinerante	2,10
Largo da Batalha	52,25
Santa Bárbara	5,39
Total	273,91

ANEXO II – Resultados Permeâmetro de Guelph

Abaixo estão expostos os dados obtidos através dos ensaios realizados com o Permeâmetro de Guelph na Avenida Roberto Silveira, Icaraí, Niterói.

Tabela 15 - Dados obtidos para ponto 1

Medição	Leitura do nível da água [cm]	Alteração do nível d'água [cm]	Fluxo da água [cm/s]
0	0	0	0,0000
1	5,3	5,3	0,0883
2	6,7	1,4	0,0233
3	8	1,3	0,0217
4	9,2	1,2	0,0200
5	10,4	1,2	0,0200
6	11,5	1,1	0,0183
7	12,7	1,2	0,0200
8	13,6	0,9	0,0150
9	14,8	1,2	0,0200
10	15,8	1	0,0167
11	16,7	0,9	0,0150
12	17,6	0,9	0,0150
13	18,6	1	0,0167
14	19,6	1	0,0167
15	20,5	0,9	0,0150
16	21,5	1	0,0167
17	22,5	1	0,0167
18	23,4	0,9	0,0150
19	24,3	0,9	0,0150
20	25,2	0,9	0,0150
21	26,1	0,9	0,0150
22	26,9	0,8	0,0133
23	27,9	1	0,0167
24	28,6	0,7	0,0117
25	29,5	0,9	0,0150
26	30,2	0,7	0,0117
27	31,2	1	0,0167
28	32	0,8	0,0133
29	32,9	0,9	0,0150
30	33,6	0,7	0,0117
31	34,5	0,9	0,0150
32	35,3	0,8	0,0133
33	36,1	0,8	0,0133
34	37,1	1	0,0167

35	37,9	0,8	0,0133
36	38,5	0,6	0,0100
37	39,5	1	0,0167
38	40,1	0,6	0,0100
39	41	0,9	0,0150
40	41,8	0,8	0,0133

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 16 - Dados obtidos para ponto 2

Medição	Leitura do nível da água [cm]	Alteração do nível da água [cm]	Fluxo da água [cm/s]
0	0	0	0,0000
1	4,1	4,1	0,0683
2	5	0,9	0,0150
3	5,8	0,8	0,0133
4	6,5	0,7	0,0117
5	7,3	0,8	0,0133
6	8,1	0,8	0,0133
7	9	0,9	0,0150
8	9,8	0,8	0,0133
9	10,5	0,7	0,0117
10	11,3	0,8	0,0133
11	12	0,7	0,0117
12	12,8	0,8	0,0133
13	13,5	0,7	0,0117
14	14,2	0,7	0,0117
15	15	0,8	0,0133
16	15,8	0,8	0,0133
17	16,5	0,7	0,0117
18	17,2	0,7	0,0117
19	18	0,8	0,0133
20	18,6	0,6	0,0100
21	19,2	0,6	0,0100
22	20	0,8	0,0133
23	20,7	0,7	0,0117
24	21,5	0,8	0,0133
25	22,1	0,6	0,0100
26	22,9	0,8	0,0133
27	23,5	0,6	0,0100
28	24,2	0,7	0,0117
29	25	0,8	0,0133
30	25,5	0,5	0,0083
31	26,2	0,7	0,0117
32	27	0,8	0,0133

33	27,5	0,5	0,0083
34	28,2	0,7	0,0117
35	29	0,8	0,0133
36	29,5	0,5	0,0083
37	30,1	0,6	0,0100
38	30,9	0,8	0,0133
39	32,5	1,6	0,0267
40	33,1	0,6	0,0100

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 17 - Dados obtidos para ponto 3

Medição	Leitura do nível da água [cm]	Alteração do nível d'água [cm]	Fluxo da água [cm/s]
0	0	0	0,0000
1	3,4	3,4	0,0567
2	4,5	1,1	0,0183
3	5,6	1,1	0,0183
4	6,7	1,1	0,0183
5	7,6	0,9	0,0150
6	8,9	1,3	0,0217
7	9,8	0,9	0,0150
8	10,8	1	0,0167
9	12	1,2	0,0200
10	12,9	0,9	0,0150
11	14	1,1	0,0183
12	15	1	0,0167
13	16,1	1,1	0,0183
14	17,2	1,1	0,0183
15	18,1	0,9	0,0150
16	19	0,9	0,0150
17	19,9	0,9	0,0150
18	20,8	0,9	0,0150
19	21,5	0,7	0,0117
20	22,3	0,8	0,0133
21	23	0,7	0,0117
22	23,8	0,8	0,0133
23	24,5	0,7	0,0117
24	25,7	1,2	0,0200
25	26,5	0,8	0,0133
26	27,4	0,9	0,0150
27	28,1	0,7	0,0117
28	29	0,9	0,0150
29	29,6	0,6	0,0100
30	30,4	0,8	0,0133

31	31,1	0,7	0,0117
32	31,8	0,7	0,0117
33	32,4	0,6	0,0100
34	33	0,6	0,0100
35	33,9	0,9	0,0150
36	34,5	0,6	0,0100
37	35,1	0,6	0,0100
38	35,8	0,7	0,0117
39	36,5	0,7	0,0117
40	37,1	0,6	0,0100

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Sendo assim, mas médias dos valores estabilizados foram imputadas na planilha da SOILMOISTURE juntamente com os outros parâmetros necessários, obtendo as seguintes interfaces como resultados:

Figura 27 - Dados para o ponto 1

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
(enter "15.22" for Combined and "2.16" for inner reservoir): 15,22

Enter water Head Height ("H" in cm): 5

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 1

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 1

Enter the soil category (enter one of the following numbers):

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropores, etc.

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 0,8710

Res Type: 15,22

H: 5

a: 1

H/a: 5,000

a*: 0,12

C: 0,001154257

Q: 0,513258216

K_h: 9,30E-04 cm/sec

5,58E-02 cm/min

0,30E-06 m/sec

2,20E-02 inch/min

3,66E-04 inch/sec

Φ_{se}: 7,75E-03 cm²/min

Fonte: Elaborado pela autora utilizando a planilha de SOILMOISTURE (2012), 2022.

Figura 28 - Dados para o ponto 2

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): 35.22

Enter water Head Height ("H" in cm): 5

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 3

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 3

Enter the soil category (enter one of the following numbers):

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropores, etc.

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 0.7303

Res Type: 35.22
 H: 5
 a: 3
 H/a: 1.667
 a*: 0.12
 CO.01: 0.809
 CO.04: 0.642
 CO.12: 0.803
 CO.36: 0.803
 C: 0.803
 R: 0.730
 Q: 0.429
 p: 3.142

$\alpha^* = 0.12 \text{ cm}^{-1}$
 $C = 0.803154$
 $Q = 0.428688$
 $K_{fs} = 7.80E-04 \text{ cm/sec}$
 $4.68E-02 \text{ cm/min}$
 $7.80E-06 \text{ m/sec}$
 $1.88E-02 \text{ inch/min}$
 $1.07E-04 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 6.50E-01 \text{ cm}^2/\text{min}$

Fonte: Elaborado pela autora utilizando a planilha de SOILMOISTURE (2012), 2022.

Figura 29 - Dados para o ponto 3

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): 35.22

Enter water Head Height ("H" in cm): 5

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 3

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 3

Enter the soil category (enter one of the following numbers):

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropores, etc.

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 0.8097

Res Type: 35.22
 H: 5
 a: 3
 H/a: 1.667
 a*: 0.12
 CO.01: 0.809
 CO.04: 0.642
 CO.12: 0.803
 CO.36: 0.803
 C: 0.803
 R: 0.809
 Q: 0.475
 p: 3.142

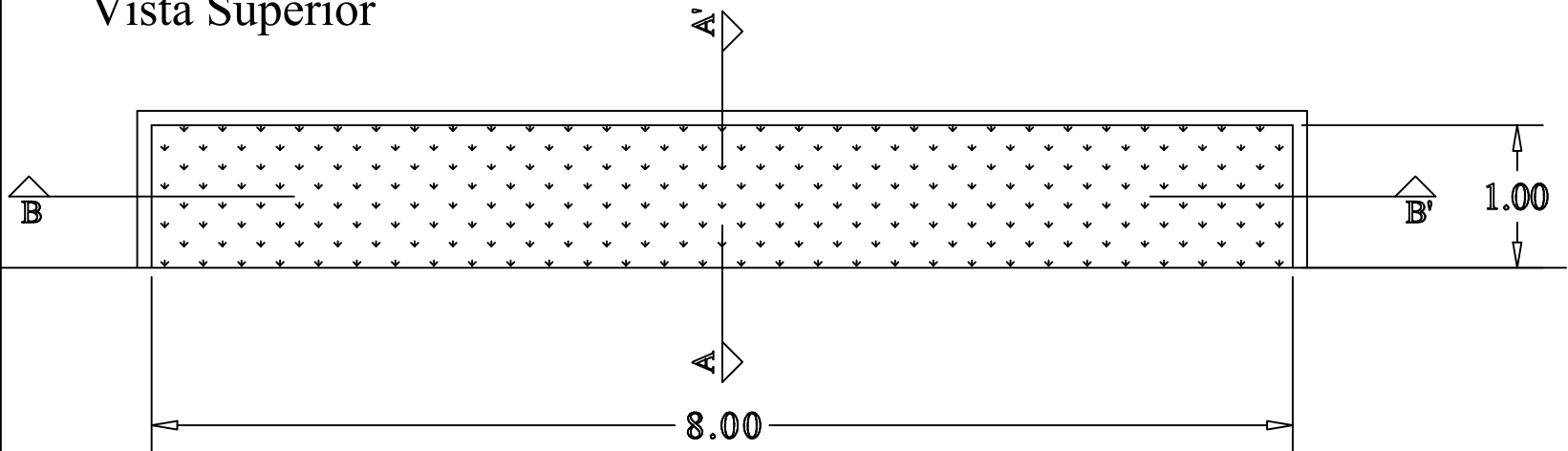
$\alpha^* = 0.12 \text{ cm}^{-1}$
 $C = 0.803154$
 $Q = 0.47528$
 $K_{fs} = 8.64E-04 \text{ cm/sec}$
 $5.19E-02 \text{ cm/min}$
 $8.64E-06 \text{ m/sec}$
 $2.04E-02 \text{ inch/min}$
 $3.40E-04 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 7.20E-01 \text{ cm}^2/\text{min}$

Fonte: Elaborado pela autora utilizando a planilha de SOILMOISTURE (2012), 2022.

ANEXO III – Projeto jardim de chuva Avenida Roberto Silveira – Niterói, RJ

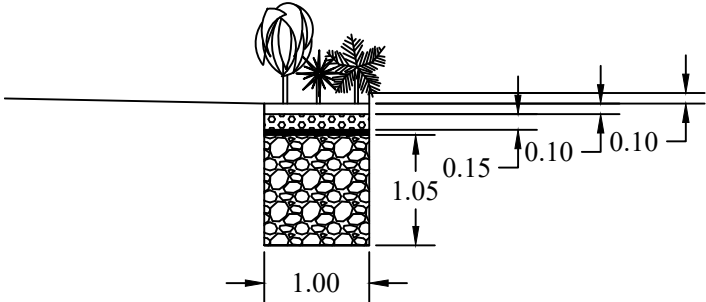
Jardim de Chuva Avenida Roberto Silveira - Niterói, RJ

Vista Superior

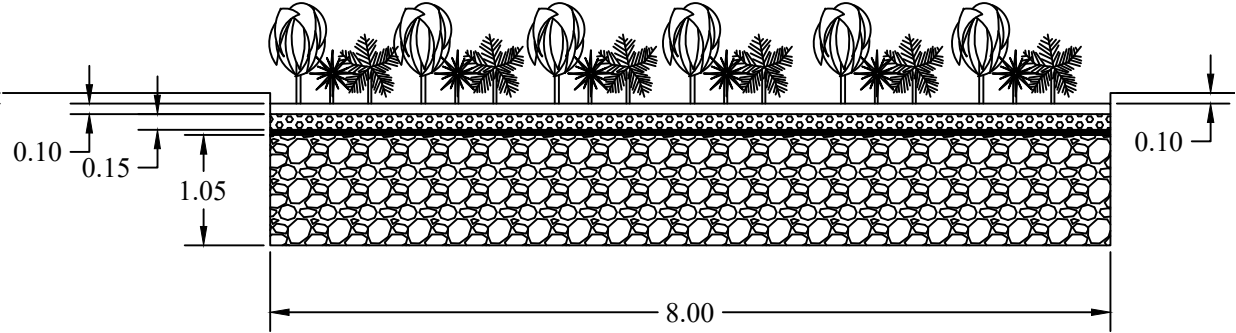


Legenda de camadas		
	Substrato	0,10 m
	Areia	0,15 m
	Manta	—
	Brita	1,05 m

Corte A-A'



Corte B-B'



Projeto de Jardim de Chuva - Niterói, RJ

Trabalho de Conclusão de Curso - UERJ

Aluna: Camila Ferreira de Vasconcellos